



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Flugsysteme und Regelungstechnik

**Einsatzmöglichkeiten heutiger
Virtual-Reality-Technologie
im zivilen Pilotentraining am Beispiel
zweier Szenarien im Rahmen einer Studie**

Masterthesis

von

Dipl.-Ing. (FH) Marcus Bauer

Darmstadt 2006

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen.....	4
Nomenklatur.....	5
Abbildungsverzeichnis.....	6
1. Einführung.....	8
1.1 Motivation und technologische Ausgangslage.....	8
1.2 Zielsetzung.....	9
1.3 Vorgehensweise.....	10
2. Recherche.....	11
2.1 Aktuelle Ausbildungsmedien in der Pilotenausbildung.....	11
2.1.1 Computer-Based-Training (CBT).....	11
2.1.2 Full-Flight-Simulator (FFS).....	12
2.1.3 Virtual-Procedure-Trainer von Aerosim (VPT).....	13
2.1.4 Ausbildungsweg eines angehenden LH-Piloten.....	14
2.2 Einsatzbereiche der Virtual-Reality-Technologie.....	14
2.2.1 Medizintechnik.....	15
2.2.2 Spielemarkt.....	15
2.2.3 Luft- und Raumfahrt.....	16
3. Planung und Durchführung.....	17
3.1 Hardwarekomponenten des Virtual-Reality-Procedure-Trainer (VRPT).....	18
3.1.1 Simulations-Rechner.....	18
3.1.2 Touchpad.....	18
3.1.3 Helmet-Mounted-Display (HMD).....	19
3.1.4 Trackingsystem.....	20
3.1.5 Datenhandschuh.....	21
3.1.6 Audio-System.....	21
3.2 Aufbau des VRPT.....	22
3.3 Ablauf des VRPT.....	22
4. Inhalt der Trainingsszenarien des VRPT.....	24
4.1 Virtueller Trainingsraum (VT).....	24
4.2 A320 Pushback und Startup Szenario.....	26
4.3 Airport FAM Szenario.....	27
5. Datenaufzeichnung und Analyse der Teilnehmer.....	29
5.1 Aufzeichnung der Daten über den Studienverlauf.....	29
5.2 Inhalt der Fragebögen.....	30
5.3 Analyse der Teilnehmer an Hand des Fragebogen.....	31
5.3.1 Aktuelles Flugzeugmuster.....	31
5.3.2 Altersverteilung.....	32
5.3.3 Gesamte Flugstundenanzahl.....	33
5.3.4 Anzahl der Teilnehmer im Studienverlauf.....	34
5.4 Aufzeichnung weiterer Daten.....	35
5.5 Auswertung der SQL-Datenbank.....	35

6. Evaluierung der Studie.....	36
6.1 Subjektive Daten.....	36
6.1.1 Fragebogen Teil 1.....	36
6.1.2 Fragebogen Teil 2.....	41
6.1.3 Handschriftliches Feedback.....	47
6.2 Objektive Daten.....	49
7. Zusammenfassung und Ausblick.....	52
7.1 VR-Technologie als Ausbildungsmedium.....	52
Literaturverzeichnis.....	54
A Anhang zu Kapitel 3.....	55

Abkürzungen

Alle verwendeten Abkürzungen werden beim ersten Auftreten im Text erklärt. Die folgende Liste soll dem Leser die Möglichkeit des Nachschlagens der verwendeten Abkürzungen eröffnen.

3D	Dreidimensional
2000-4000	Teilnehmer mit insgesamt 2000 bis 4000 Flugstunden
4001-6000	Teilnehmer mit insgesamt 4001 bis 6000 Flugstunden
6001-8000	Teilnehmer mit insgesamt 6001 bis 8000 Flugstunden
A320	Teilnehmer mit dem Flugzeugmuster der A320 Familie
A340	ziviles Flugzeug vom Hersteller Airbus des Typs 340
AXXX	Teilnehmer mit einem Airbus-Flugzeugmuster jedoch nicht A320 Familie
ca.	zirka
DIN-A4	Blattgröße nach DIN mit 21cm Breite und 29.7cm Höhe
EADS	European Aeronautic Agency for Defence and Space
FFS	Full-Flight-Simulator
Gesamt	Alle Teilnehmer
HMD	Helmet-Mounted-Display
LBA	Luftfahrt-Bundesamt
LFT	Lufthansa-Flight-Training
LH	Lufthansa
nicht Airbus	Teilnehmer mit einem Flugzeugmuster jedoch nicht Airbus
PC	Personal-Computer
S1	Stuhl 1, Abbildung 22
S2	Stuhl 2, Abbildung 22
SQL	Datenbank: „Structured Query Language“
T1	Tisch 1, Abbildung 22
T2	Tisch 2, Abbildung 22
T3	Tisch 3, Abbildung 22
TUD	Technische Universität Darmstadt
über 8000	Teilnehmer mit insgesamt mehr als 8000 Flugstunden
unter 2000	Teilnehmer mit insgesamt weniger als 2000 Flugstunden
USB	Computer Interface, Universal Serial Bus
VPT	Virtual-Procedure-Trainer
VR	Virtual-Reality
VRPT	Virtual-Reality-Procedure-Trainer
VT	Virtueller Trainingsraum

Nomenklatur

Alle verwendeten Bezeichnungen werden beim ersten Auftreten im Text erklärt. Die folgende Liste soll dem Leser die Möglichkeit des Nachschlagens der verwendeten Größen eröffnen.

"	Zoll
°	Grad
cm	Zentimeter
Hz	Hertz
km ²	Quadratkilometer
m	Meter
ms	Millisekunden

Abbildungsverzeichnis

1 Studie mit Arbeitspaketen der Masterthesis	9
2 CBT: Cockpit-Training [OTR]	11
3 CBT: APU-Start	11
4 FFS von LFT in Frankfurt [LFT]	12
5 Virtual-Procedure-Trainer [AER]	13
6 Zeitlicher Verlauf der Ausbildung zum Piloten bei LH [LHP]	14
7 Darstellung mit Projektion [CAS]	15
8 Visualisierung mit 3D Ansichten	15
9 VR im Spielemarkt [MNF]	15
10 Visualisierung von aerodynamischen Strömungen mit VR [ITS]	16
11 Projektplan zum Verlauf der Studie	17
12 Training (VRPT)	17
13 Simulations-PC	18
14 Touchpad-PC	18
15 Kaiser XL50	19
16 Gesichtsfeld beider Augen von [UIB]	19
17 Trackingrechner des IS-900 [INT]	20
18 „SoniWing“, Breite ca. 80cm [INT]	20
19 Kopfeempfänger [INT]	20
20 Handempfänger [INT]	20
21 Datenhandschuh „5 Ultra“ [5DT]	21
22 Skizze der Räumlichkeiten des VRPT	22
23 Tisch mit Touchpad -PC	22
24 Tracking mit HMD	22
25 Genereller Ablauf des Virtual-Reality-Procedure-Trainer	23
26 Virtueller Trainings Raum	24
27 Auswahlmöglichkeit eines Szenarios im Virtuellen Trainings Raum	25
28 Ablauf des VT	25
29 Cockpitperspektive Szenario 1	26
30 Lower ECAM Szenario 1	26
31 Ablauf des Szenario 1	27
32 Hindernisse in Szenario 2	27
33 Flugpfad des Missed Approach	27
34 Ablauf des Szenario 2	28
35 Darstellung der SQL-Daten aus dem VRPT	29
36 Prozentuale Verteilung - Flugzeugmuster	31
37 Prozentuale Verteilung - Lebensalter	32
38 Altersverteilung - Teilnehmeranzahl	32
39 Prozentuale Verteilung - Flugstunden	33
40 Teilnehmeranzahl über den Studienverlauf	34
41 Teilnehmerbeteiligung über den Gesamtverlauf des VRPT	34
42 Gruppenmittelwerte - Lebensalter	36
43 Gruppenmittelwerte - Flugstunden	37
44 Prozentuale Verteilung - Geflogene Flugzeugmuster	38
45 Gruppenmittelwerte - Erfahrung mit Computerspielen	38
46 Gruppenmittelwerte - Erfahrung mit der VR-Systemen	39
47 Gruppenmittelwerte - Erfahrung mit einem Datenhandschuh	40
48 Gruppenmittelwerte - Erfahrung mit einem HMD	40
49 Gesamtverteilung - HMD-Auflösung	41

50 Gruppenmittelwert - HMD-Auflösung	41
51 Gesamtverteilung - HMD-Sichtbereich	41
52 Gruppenmittelwerte - HMD-Sichtbereich	41
53 Gesamtverteilung - HMD-Tragekomfort	42
54 Gruppenmittelwerte - HMD-Tragekomfort	42
55 Gesamtverteilung - Datenhandschuh-Tragekomfort	42
56 Gruppenmittelwerte - Datenhandschuh-Tragekomfort	42
57 Gesamtverteilung - Szenario 1 - Realitätsgrad	43
58 Gruppenmittelwerte - Szenario 1 - Realitätsgrad	43
59 Gesamtverteilung - Virtueller Kapitän	43
60 Gruppenmittelwerte - Virtueller Kapitän	43
61 Gruppenmittelwerte - Bedienbarkeit der Cockpitlelemente	44
62 Gesamtverteilung – Bedienbarkeit der Cockpitlelemente	44
63 Bedienbarkeit der Cockpitlelemente - A320 / nicht Airbus	44
64 Gesamtverteilung - Räumliche Orientierung	45
65 Gruppenmittelwerte - Räumliche Orientierung	45
66 Gesamtverteilung - Stereovisualisierung	45
67 Gruppenmittelwerte - Stereovisualisierung	45
68 Gesamtverteilung – Orientierung Szenario 2	46
69 Gruppenmittelwerte – Orientierung Szenario 2	46
70 Gesamtverteilung - Anflug Szenario 2	46
71 Gruppenmittelwerte - Anflug Szenario 2	46
72 Gesamtverteilung - Auflösung der Satellitenbilder	47
73 Gruppenmittelwerte - Auflösung der Satellitenbilder	47
74 Ergebnisse der Feedbackzettel	47
75 Gruppendurchschnittswerte - Gesamtzeit Szenario 1	49
76 Gesamtverteilung - Gesamtzeit Szenario 1	49
77 Gesamtzeit Szenario 1 – A320 / nicht Airbus	50
78 Gesamtverteilung – Bedienzeit der Interaktion für APU-Bleed ON	50
79 Gesamtverteilung - Interaktionszeit Nosewheel-Hyd OFF	51
80 Technisches Datenblatt des IS900	55
81 Anleitung für Probanden zum Ein-/Ausschalten des VRPT, Seite 1 von 4	56
82 Anleitung für Probanden zum Ein-/Ausschalten des VRPT, Seite 2 von 4	57
83 Anleitung für Probanden zum Ein-/Ausschalten des VRPT, Seite 3 von 4	58
84 Anleitung für Probanden zum Ein-/Ausschalten des VRPT, Seite 4 von 4	59
85 Fragebogen Teil 1	60
86 Fragebogen Teil 2, Seite 2 von 2	61
87 Feedbackbatt für Kritik und Anregungen	61

1. Einführung

1.1. Motivation und technologische Ausgangslage

Die Ausbildung und Schulung ist ein wichtiger Grundstein in unserer heutigen Gesellschaft geworden. Es gilt Wissen und Arbeitsschritte effektiv weiter zu vermitteln. Mit den heutigen Technologien lassen sich Informationen mit neuen Möglichkeiten darstellen. Oft werden heute Informationen rechnergestützt dem Auszubildenden vermittelt. Aber auch das Internet, die weltgrößte Bibliothek eröffnet neue Formen des räumlich ungebundenen Lernens.

Im Luftfahrtbereich ist auf Grund der Komplexität des Arbeitsplatzes im Flugzeugcockpit die Ausbildung sehr umfangreich. Es wird versucht den zukünftigen Piloten so gut wie möglich auf seine zukünftige Arbeit vorzubereiten, um mit möglichen Problemen fertig zu werden. In der zivilen Luftfahrt erfolgt die Ausbildung der Piloten häufig durch die Fluggesellschaften selbst, um das maßgeschneiderte Ausbildungskonzept der Fluggesellschaft an die eigenen Piloten gezielt weiterzugeben. Im militärischen Bereich der Luftfahrt wird die Ausbildung der zukünftigen Kampfpiloten bei der Luftwaffe durchgeführt. Der Anspruch an die Pilotenausbildung besteht in der Ausbildungsqualität und selbstverständlich in den Ausbildungskosten. Da die Kosten direkt mit der Ausbildungszeit verbunden sind, muss die Ausbildung kurz und effektiv sein.

Ausgang dieser Arbeit ist es, die heutigen Ausbildungsmittel kurz aufzuführen, und eine neue Trainingskomponente vorzustellen, mit der möglicherweise einige Trainingsinhalte schneller und günstiger vermittelt werden könnten. Dazu wird die Technologie der Virtual-Reality (VR) in Betracht gezogen, mit der sich neue Möglichkeiten ergeben. Wissen, technische Konzepte und Lernprozesse könnten dadurch auf eine ganz neue Art und Weise vermittelt werden.

Das Fachgebiet Flugsysteme und Regelungstechnik der Technischen Universität Darmstadt (TUD) forscht seit vielen Jahren auf dem Gebiet der Virtual-Reality. Die TUD betreibt einen Experimental-Simulator mit dem neue Cockpit-Technologien erprobt und entwickelt werden können. Das Cockpit ist von der Dimensionierung und Auslegung an einen Airbus 340 angelehnt. Zusätzlich besitzt der Lehrstuhl ein virtuelles Cockpit, welches auf die gleichen Simulations- und Datenpakete wie der reale Entwicklung-Simulator zugreift. Das virtuelle Cockpit besteht nur aus einem Konstrukt mit einfachen Platten, die die Oberflächen der Cockpit-Panels abgrenzen soll. Die Cockpitgeometrie mit Bildschirmen und Bedienelementen werden über einen Helm, den der Pilot trägt, visuell per Software dargestellt. Interaktionen mit dem Cockpit werden über einen Datenhandschuh in dem virtuellen Cockpit ausgeführt.

Im militärischen Bereich entwickelt die Simulationsabteilung des Bereichs „Military Air Systems“, des weltweit zweitgrößten Luft- und Raumfahrtkonzern EADS, ebenfalls seit vielen Jahren neue mögliche Einsatzbereiche mit der VR-Technologie im Bereich der militärischen Flugsimulation. VR wird hier zum einen als günstiges Sichtsystem für die virtuellen Cockpits und Umgebungen und zum anderen zur Cockpitgestaltung von neuen militärischen Cockpits eingesetzt.

1.2.Zielsetzung

In einer Zusammenarbeit von EADS, TUD, der Fluggesellschaft Lufthansa (LH) und der LH-Tochter Lufthansa-Flight-Training (LFT) wurde eine Studie an einem Prototypen über einen Zeitraum von fünf Monaten durchgeführt.

Zielsetzung dieser Arbeit soll die Auswertung dieser Studie, hinsichtlich einer Aussage über die Einsatzmöglichkeiten und der Akzeptanz der heutigen VR-Technologie von TUD und EADS im Bereich des zivilen Pilotentrainings sein.

Der Trainingsinhalt des Prototypen wurde mit LH auf Grundlage der technischen Möglichkeiten von EADS und TUD erstellt. Die dazu aufgestellten Hypothesen sollen in dieser Arbeit analysiert und bewertet werden.

- Das in dieser Studie untersuchte Trainingsmedium wird von den Piloten positiv bewertet.
- Die aktuell verfügbare VR-Hardware funktioniert zuverlässig.
- Das Procedure-Training kann mit einem VR-System realisiert werden.
- Informationen zu Flughäfen können mit einem VR-System vermittelt werden.

Im Folgenden sollen die Inhalte der gesamten Studie aufgezeigt werden. Die Arbeitspakete dieser Masterthesis sind grün hervorgehoben.



Abbildung 1: Studie mit Arbeitspaketen der Masterthesis

1.3.Vorgehensweise

Die Studie wurde mit dem Prototypen eines virtuellen Trainingsgerätes durchgeführt. Als Probanden stellte LH Piloten zur Verfügung, welche auf freiwilliger Basis an der Studie teilnehmen konnten. Der Weg zum Prototypen, sowie der zeitliche Aufwand für die Teilnahme sollte sich in Grenzen halten. Daher wurde der Prototyp, der Virtual-Reality-Procedure-Trainer (VRPT) auf der Lufthansa Basis in Frankfurt am Main aufgestellt.

Über einen Zeitraum von fünf Monaten konnte der VRPT von Lufthansapiloten getestet werden. Als VR-Hardwarekomponenten wurden ausgewählte Produkte aus der internationalen VR-Industrie eingesetzt.

Die beiden Trainingsszenarien des VRPT, wurden mit den Lerninhalten von LH und LFT abgestimmt. Im ersten Szenario konnte der Pilot im virtuellen Raum ein Startup und Pushback Szenario aus Cockpitperspektive eines Airbus-320 interaktiv erleben. Die Bedienung der virtuellen Cockpitelemente erfolgte mit Hilfe eines Datenhandschuhs. Im zweiten Szenario wurde ein Anflugverfahren eines als kritisch eingestuften Flughafens mit geographischer Umgebung demonstriert. Den Piloten sollte das spezielle Anflugverfahren und die kritischen Objekte wie Berge und Lufträume aus Cockpitperspektive sowie externer Sicht im 3D-Raum vermittelt werden.

Während der fünfmonatigen Studie wurden Daten aus den beiden Fragebögen und der Anwendung erfasst. Diese sollen aufbereitet und ausgewertet werden. Die Evaluierung soll sich mit den erfassten Daten und den gestellten Hypothesen, sowie mit der subjektiven Bewertung befassen.

2. Recherche

2.1. Aktuelle Ausbildungsmedien in der Pilotenausbildung

Die Entwicklung neuer Ausbildungsmedien hängt stark von der Konzeption der Ausbildung, den zu vermittelnden Inhalten und den technischen Möglichkeiten ab. Die heutige Pilotenausbildung greift auf Medien wie Computer-Based-Training und dem Full-Flight-Simulator zu. In den folgenden Abschnitten sollen diese Medien, sowie andere die sich noch in der Entwicklung befinden, kurz vorgestellt werden. Abschließend wird die aktuelle Vorgehensweise der Pilotenausbildung bei LH erklärt.

2.1.1. Computer-Based-Training (CBT)

Das CBT ist ein Lernmedium, mit welchem Lerninhalte über einen PC vermittelt werden. Der auszubildende Pilot erfährt Informationen rund um die fliegerische Ausbildung, wie technische Flugzeugdetails, Prozedurfolgen und mögliche Fehlfunktionen visuell über den PC-Monitor. Vordefinierte Lernkapitel führt der Pilot über Interaktionen mit der PC-Maus durch. Auditiv wird der Pilot mit zuvor aufgezeichneten Informationen und Anweisungen eines Sprechers begleitet. Ebenfalls bietet das CBT Lernszenarien für Vorbereitungen auf An- und Abflugverfahren für Flughäfen, hinsichtlich ihrer geographischen Umgebung an, welche in Fachkreisen als „Airport Familiarization“ bezeichnet wird. Dies geschieht vorwiegend mit Hilfe von Fotos und Zeichnungen, die auf dem Bildschirm dargestellt werden.

Um die Lernmöglichkeit so flexibel wie möglich zu gestalten, stellt Lufthansa-Flight-Training seinen Piloten einen Trainingport per Internet zur Verfügung [OTR]. Die Piloten können sich auf diese Weise weltweit über das Internet ortsungebunden in ihr CBT-Training einloggen. An Hand ihrer Einwahlkennung werden den einzelnen Piloten ihre individuellen Trainingsinhalte zur Verfügung gestellt und dokumentiert.

CBT ist ein flexibles und kostengünstiges Medium, welches mit Bildern, Zeichnungen und Audio Informationen am PC vermittelt.

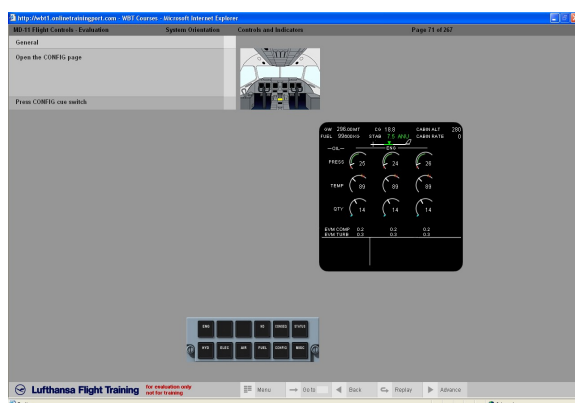


Abbildung 2: CBT: Cockpit-Training

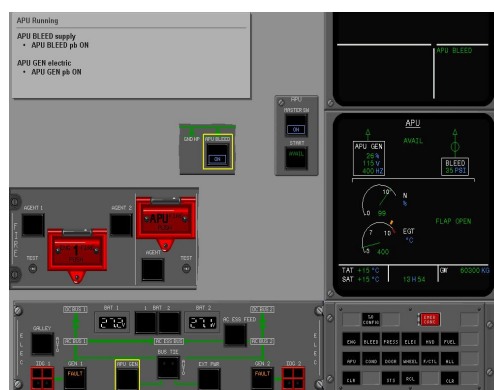


Abbildung 3: CBT: APU-Start

2.1.2.Full-Flight-Simulator (FFS)

Der FFS wird zur fliegerischen Flugausbildung genutzt. Zu Beginn einer Pilotenausbildung lernen die angehenden Piloten die fliegerischen Grundkenntnisse auf kleineren Propeller-Flugzeugen. Die spezielle Flugerfahrung auf größeren Passagiermaschinen, erfahren sie zum Ende der Pilotenausbildung im FFS.

Der FFS besteht aus einem nachgebautem Cockpit, welches teilweise aus original Cockpithardware besteht. Dieses ist mit Simulationsrechnern, die in einem benachbarten Raum stehen verbunden. Die Simulation der Flugzeugaerodynamik und der Flugzeugsysteme wird auf diesen Rechnern in Echtzeit berechnet. Um dem Piloten ein realistisches Flugempfinden zu geben, ist der Cockpitnachbau auf einem Hydrauliksystem befestigt. Dieses kann hohe Beschleunigungskräfte erzeugen. Das Bewegungssystem besitzt sechs Freiheitsgrade, was eine translatorische sowie rotatorische Bewegung in den jeweils drei Freiheitsgraden zulässt. Auf diese Weise werden die auf den Piloten wirkenden Kräfte aus Flugzeuglage und Flugzeugkräften berechnet und durch Ausrichtung und Beschleunigung der Cockpitplattform erzeugt.



Abbildung 4: FFS von LFT in Frankfurt

Zusätzlich befindet sich vor den Cockpitscheiben ein Rundspiegel, auf welchem die Aussensicht dargestellt wird. Mit Hilfe des Spiegels wird das visualisierte Bild der Sichtanlage im scheinbar unendlichen projiziert. Dadurch entsteht beim Piloten ein realistischer Eindruck der Aussensicht. Das Projektionssystem, welches aus insgesamt drei Projektoren besteht, projiziert ein Bild mit einer horizontalen Breite von 180° bis 210°. Um realitätsnahe Landetrainings durchführen zu können, verfügt das Sichtsystem über visuelle Effekte wie Wetter, Sichtverhältnisse, Landebahnbefeuerung und vieles mehr. Die künstliche computergenerierte Aussenwelt, die in Fachkreisen als Datenbasis bezeichnet wird, entspricht den original geographischen Gegebenheiten. Diese basiert auf original Höheninformationen und Satellitenbildern. Ortstypische Objekte wie Gebäude oder Funkmasten, sind zusätzlich in der Datenbasis als 3D-Modell integriert.

Der FFS wird im zivilen Pilotentraining als das perfekte Ersatzgerät für ein echtes Flugzeug gesehen. Daher werden Flugstunden, die in einem FFS von Piloten durchgeführt werden, auch als echte Flugstunden von der Luftfahrt-Behörde anerkannt. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, wird der FFS in regelmäßigen Intervallen von der Behörde geprüft. Im finanziellen Vergleich, kostet eine Flugstunde in einem FFS etwa 1000 Euro, hingegen eine echte Flugstunde mit einem Personenflugzeug mit etwa 10.000 Euro veranschlagt wird.

2.1.3. Virtual-Procedure-Trainer von Aerosim (VPT)

Die Firma Aerosim bietet ein Medium auf dem Markt an, mit dem CBT-Inhalte über Touchscreens vermittelt werden. Mit Hilfe des sogenannten VPT sollen die Trainingszeiten und der Lernprozess der Piloten optimiert werden. Das Gerät besteht aus LCD-Bildschirmen die die Cockpitflächen mit ihren Bildschirmen und Schaltern darstellen. Die Bedienung der Cockpitelemente erfolgt über die Berührung der LCD-Bildschirme. Der Vorteil des Gerätes liegt in der günstigen Nachbildung des Cockpits, worin die Cockpitelemente mit LCD-Schirmen dargestellt werden [AER]. Durch die räumliche Anordnung der LCDs kann sich der Pilot mit dem VPT bereits einfach eine räumliche Vorstellung des Cockpits machen, was sich mit dem CBT als eher schwierig darstellt.



Abbildung 5: Virtual-Procedure-Trainer

Ein Nachteil des VPT ist jedoch die Bedienung komplizierter Knöpfe über den einfachen Berührungsmechanismus. Hierzu müssen oft zusätzliche Symbologien zur Bedienung von Dreh- und Kombinationsschaltern im LCD mit dargestellt werden. Eine Außensicht wie der FFS besitzt der VPT jedoch nicht. Für komplexe Prozeduren wird bei einem solchen Procedure-Trainer eine komplizierte Simulation benötigt, die oft auf den Funktionen eines FFS-Simulationsrechners beruht. Damit können auch realistische Fehler simuliert und nachgestellt werden.

2.1.4. Ausbildungsweg eines angehenden LH-Piloten

Die Pilotenausbildung bei Lufthansa läuft insgesamt über einen Zeitraum von ca. zwei Jahren. Während dieser Zeit werden Ausbildungsmedien wie CBT, FFS und Flugzeug verwendet. Im Folgenden soll kurz der Ausbildungsverlauf eines angehenden Piloten dargestellt werden.

Zeitraum	Lerinhalt	Ausbildungsmedium
5 Monate	Theoretische Ausbildung (Bremen)	-
6 Monate	Theorie und Praxis (Phoenix Amerika) Flugzeug: Beech F33	CBT Echtes Flugzeug
5 Monate	Theoretische Ausbildung (Bremen)	CBT
5 Monate	Praktische Ausbildung (Bremen)	CBT FFS (PA42) FFS (B737/A320)

Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf der Ausbildung zum Piloten bei LH

2.2. Einsatzbereiche der Virtual-Reality-Technologie

VR ist eine Technologie die bereits seit vielen Jahren existiert und immer weiterentwickelt wird. Der Begriff „virtuell“, aus dem Englischen ins Deutsche als „scheinbar“ übersetzt, verdeutlicht den Wunsch des Menschen realistische Simulationen von Prozessen und Systemen in einer virtuellen Umwelt zu generieren. In dieser scheinbaren Welt, die in Echtzeit von Computern berechnet wird, soll der Mensch in der Lage sein, mit den virtuell vorhandenen Objekten zu interagieren. VR bietet vielversprechende Forschungs- und Anwendungsansätze für die internationalen Branchen von Technik, Naturwissenschaft und Unterhaltungsindustrie.

Auf Grund der schnellen Entwicklung der IT-Branche stehen immer schnellere und günstigere Computer zur Berechnung der virtuellen Welt zur Verfügung. Der stark wachsende Spielmarkt trägt gerade im Bereich der Entwicklung von neuen Grafikkarten und der VR-Hardware erheblich bei. Waren es in der Vergangenheit noch spezielle und teure Computersysteme zur Darstellung von 3D-Szenarien nötig, so ist dies heute oft schon mit handelsüblichen Computersystemen möglich, die mit verhältnismäßig günstigen 3D-Grafikkarten ausgestattet sind. Im Folgenden soll das Potential der VR-Technologie am Beispiel von Einsatzbereichen gezeigt werden.

2.2.1. Medizintechnik

In der Medizintechnik kann mit VR der menschliche Körper auf eine neue Art und Weise dargestellt werden. VR kann zu Ausbildungszwecken, Demonstrationszwecken oder zur Vorbereitung für komplizierte Operationen genutzt werden. Im 3D-Raum kann der menschliche Organismus in seinen Einzelheiten sehr gut veranschaulicht werden. In Abbildung 8 wird der menschliche Kopf aus unterschiedlichen Perspektiven mit einer 3D-Darstellung gezeigt. Die menschlichen Körperteile und Organe können im 3D-Raum gedreht und dem Beobachter plastisch dargestellt werden. In Abbildung 7 werden mit einer Projektionswand organische Strukturen plastisch dargestellt.

In der nahen Zukunft wird angedacht, Operationen aus der Distanz mit VR-Visualisierungssystemen durchführen zu können [CAS]. Dabei sollen sich Arzt und Patient nicht mehr im gleichen Raum befinden. Informationen und Ergebnisse werden dem Arzt über das virtuelle Medium visualisiert.



Abbildung 7: Darstellung mit Projektion

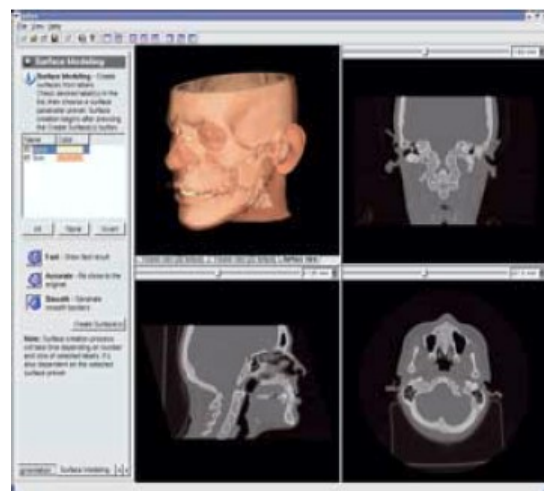


Abbildung 8: Visualisierung mit 3D Ansichten

2.2.2. Spielmarkt

VR findet gerade im Spielmarkt großes Interesse. Da die heutige VR-Hardware jedoch noch sehr teuer ist, können sich viele Konsumenten des Spielmarktes diese Technologie noch nicht leisten. Die Entwickler arbeiten daher an neuen günstigen Brillen, mit denen die virtuelle Welt dem Spieler dargestellt werden soll.

Der Spielmarkt möchte VR in vielen Bereichen wie Sport, Abenteuer, Simulation, etc. zum Einsatz bringen [MNF]. In Abbildung 9 ist ein Spieler mit einem virtuellen Abbild einer VR-Sportsimulation zu sehen.



Abbildung 9: VR im Spielmarkt

2.2.3. Luft- und Raumfahrt

In der Luft- und Raumfahrt gibt es viele technische Konzepte und Inhalte die vermittelt und dargestellt werden sollen. VR bietet hier gute Möglichkeiten, technische Informationen plastisch im 3D-Raum darzustellen. In Abbildung 10 ist das Ergebnis einer Strömungssimulation der Stuttgarter Universität zu sehen [ITS].

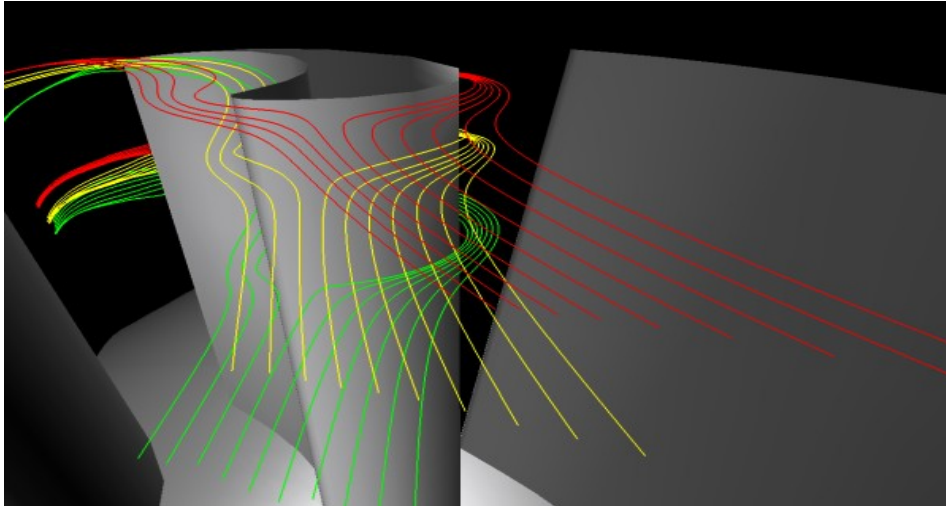


Abbildung 10: Visualisierung von aerodynamischen Strömungen mit VR

VR wird in der Ingenieurtechnik jedoch bisher hauptsächlich in der Forschung eingesetzt. Die Gründe liegen in der aufwendigen und teuren Computerhardware, die in der Vergangenheit benötigt wurde. Ebenfalls sind zusätzliche Geräte wie der VR-Helm zur Visualisierung und das Tracking zur Positionsbestimmung von Kopf und Hand im 3D-Raum teuer. Auf Grund der starken Entwicklung und des Preisverfalls im IT-Sektor, sowie die Forschung an neuen leistungsstärkeren und günstigeren VR-Geräten, machen VR zu einer interessanten Technologie.

Im Bereich des Pilotentraining ist VR bislang unbekannt und das heutige Pilotentraining basiert nach wie vor auf den beiden Trainingsmedien, Computer-Based-Training (CBT) und Full-Flight-Simulator (FFS).

3. Planung und Durchführung

Im März 2005 wurde die Zusammenarbeit für eine Studie zur VR-Technologie beschlossen. Die Partnerschaft aus LH, LFT, EADS und TUD beschloss im Rahmen dieser Studie, die im September 2005 beginnen sollte, eine Software für den ernannten VRPT zu entwickeln und die Lerninhalte und Konzepte von LH entsprechend zu berücksichtigen. Die Räumlichkeit für den VRPT wurde so gewählt, dass die LH-Piloten (Probanden) einen kurzen Weg zum VRPT haben sollten. LFT stellte daher einen Raum im Simulatorgebäude auf der Lufthansa-Basis am Frankfurter Flughafen zur Verfügung.

Die Auswahl der einzusetzenden Hardware für den VRPT, speziell im Bereich der Virtual-Reality wurde auf Grund der Erfahrungen von EADS und TUD getroffen. Begonnen wurde das Projekt mit der Planung und Entwicklung im März 2005. Die Studie begann im September 2005 und endete im Januar 2006.

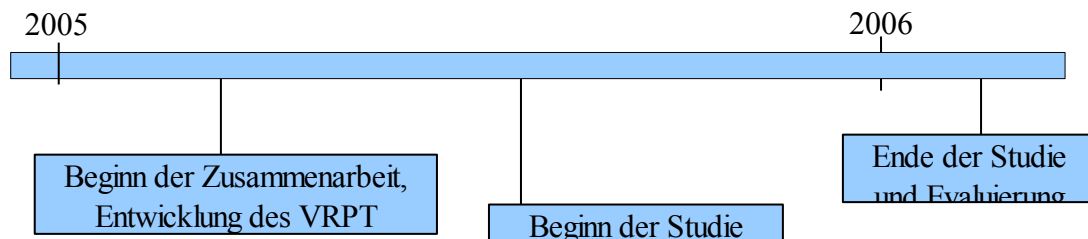


Abbildung 11: Projektplan zum Verlauf der Studie

Der Prototyp dieser Studie, der VRPT soll den Piloten wie der VPT, Cockpit-Prozeduren vermitteln. Die Darstellung der Cockpitflächen geschieht im VRPT nicht wie beim VPT über LCD-Displays, sondern über einen Helm, den der Pilot trägt. Dieser stellt dem Piloten über zwei kleine LCD-Displays, die sich vor den Augen befinden ein Abbild der simulierten Umgebung, in die der Pilot aktuell blickt dar. Dem Piloten wird zusätzlich zu der gesamten Cockpitstruktur und den Displays und Schaltern die Außensicht im Helm visualisiert. Dadurch ermöglicht das System dem Piloten, wie im FFS einen Blick aus dem virtuellen Cockpit. Wie beim FFS besitzt die Außensicht des VRPT Wettereffekte, einstellbare Sichtverhältnisse und eine detaillierte Datenbasis. Die Interaktion mit Cockpit-elementen geschieht wie beim VPT über Berührung. Die Berührung des VRPT findet jedoch zwischen dem Datenhandschuh und den virtuellen Cockpit-elementen statt, die nur für den Piloten mit dem Helm sichtbar sind. Die Berechnung der virtuellen Berührung geschieht im Visualisierungsrechner. Als Grundlage dient die Positionsermittlung des Datenhandschuhs durch das Trackingsystem.



Abbildung 12: Training (VRPT)

In der Abbildung 12 ist ein LH-Pilote im VRPT zu sehen, der gerade einen Schalter im virtuellen Cockpit bedient. Eine Besonderheit bei der Visualisierung durch das HMD, ist die stereoskopische Darstellung. Jedes Auge des Piloten wird mit einem separaten Bild in Echtzeit versorgt, was zu einem plastischen Bild führt. Dieser Effekt ist allgemein von den heutigen 3D-Kinos bekannt, die jedoch mit einer Rot-Grün oder polarisierten Brille funktionieren.

3.1.Hardwarekomponenten des Virtual-Reality-Procedure-Trainer (VRPT)

3.1.1.Simulations-Rechner

Als PC zur Berechnung der VR-Interaktionen und Visualisierung der virtuellen Umgebung in Echtzeit, diente ein handelsüblicher PC-Shuttle. Dieser war mit einem leistungsstarken Prozessor und einer 3D-Grafikkarte ausgestattet. Die Systemplattform des Rechners war SuSE-Linux, auf der der VRPT in C / C++ und OpenGL programmiert wurde.



Abbildung 13: Simulations-PC

3.1.2.Touchpad

Als Touchpad, zur Eingabe des Fragebogen und zur Steuerung des VRPT, kam ein kompakter Rechner mit 10,4" Touchdisplay zum Einsatz. Die Applikation des Touchpads wurde über eine Netzwerkverbindung zum Simulations-PC übertragen. Die Eingabe der Fragebögen sollte einfach und digital erfassbar sein.

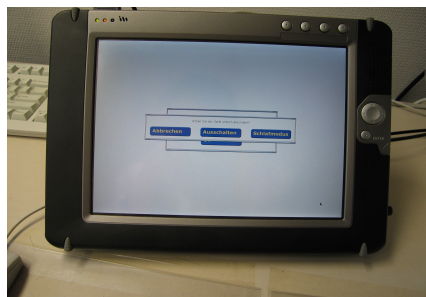


Abbildung 14: Touchpad-PC

3.1.3. Helmet-Mounted-Display (HMD)

Als HMD sollte zuverlässiges und leistungsstarkes zum Einsatz kommen. Die Firma EADS benutzt seit mehr als drei Jahren Modelle der Firma Kaiser aus den USA. Das Modell Proview XL50 erwies sich als zuverlässig und robust.



Abbildung 15: Kaiser XL50

Das HMD arbeitet mit einer Auflösung von 1024x768 Pixel und einem optischen Sichtbereich von vertikal 36° und horizontal 48°.

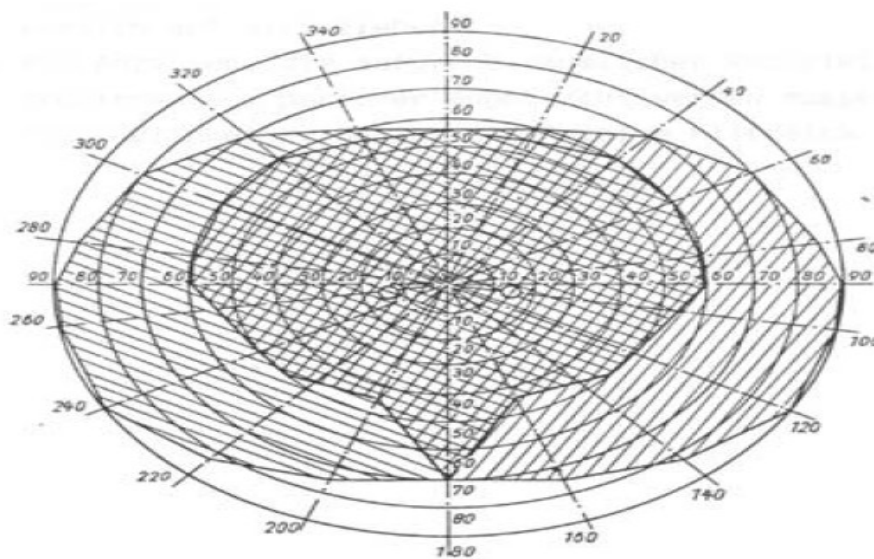


Abbildung 16: Gesichtsfeld beider Augen

Wie aus Abbildung 16 zu erkennen ist, besitzt der XL50 nur einen Teil des gesamten Sichtbereichs des menschlichen Auges. Der Bereich des peripheren Sehens, der in Abbildung 16 in den äußeren Bereichen von 60° bis 90° gezeigt wird, wird im HMD nicht wiedergegeben. Die Helme, die zu diesem Zeitpunkt auf dem Markt verfügbar waren, boten im Vergleich eine bessere Auflösung und einen größeren Sichtbereich. Man entschloss sich jedoch trotzdem für die ältere Technologie, den XL50 von Kaiser, da bei den neuen Helmen Farbverfälschungen in Verbindung mit der neuen Display-Technologie und die Zuverlässigkeit der neuen Produkte bislang unbekannt war. Weiterhin kam eine aktuelle Technologie, die mit erheblich höheren Anschaffungskosten verbunden wäre, im Rahmen dieser Studie nicht in Frage.

3.1.4. Trackingsystem

Bei der Auswahl des Trackingsystems wurde wie schon beim HMD auf die Erfahrung von EADS und TUD gesetzt. Das Trackingsystem IS-900 der Firma Intersense aus den USA bewährte sich bei EADS als sehr zuverlässiges und gutes System.

An dem Rechner des IS-900 werden der Sender und die Empfängerstationen des HMD und der Hand angeschlossen. Der IS-900 verfügt über sechs Freiheitsgrade. Die Auflösung beträgt 0.75mm in der Translation und 0.05° in der Rotation [INT]. Als Sender können für den IS900 sogenannte „SoniStrips“ eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich um Empfängerstangen, die zu einer großen Gitterfläche zusammen gefügt werden können. Der zu erfassende virtuelle Cockpitbereich, entspricht dem Pilotensitz mit dem Aktionsradius des Piloten bei der Bedienung der Cockpit Elemente. Dieser umfasst ca. eine Grundfläche von 1.5 x 1.5 Meter [INT]. Aus diesem Grund entschied man sich für den „SoniWing“, der in Abbildung 18 dargestellt ist. Mit diesem kompakten Sender können die Empfängerdaten in einem Bereich von 1.5 m x 1.5 m x 3.0 m aufgenommen werden. Die Trackerdaten werden vom Empfänger mit 180 Hz aktualisiert. Die Verzögerung des IS-900 beträgt 4 ms [INT].



Figure 2 – IS-900 Processor



Abbildung 17: Trackingrechner des IS-900 Abbildung 18: „SoniWing“, Breite ca. 80cm

Der Kopfempfänger, der in Abbildung 19 zu sehen ist, wurde auf der Oberseite des HMD befestigt. Informationen über Kopf-Rotation und Kopf-Position werden über den Kopfempfänger an das Trackingsystem und dann zum PC übermittelt.

An den Empfängern sind kleine Mikrophone installiert, die die Ultraschall-Emission des „SoniWing“ aufnehmen. Über die unterschiedliche Zeitverzögerung der einzelnen Mikrophone kann folglich die Lage im Raum unter dem Sender ermittelt werden.

Zur Bestimmung der sechs Freiheitsgrade der linken Hand zieht der Pilot zu Beginn des Trainings den Datenhandschuh, der im folgenden Kapitel vorgestellt wird, und dann den Handempfänger über seine linke Hand.



Abbildung 19: Kopfempfänger



Abbildung 20: Handempfänger

3.1.5.Datenhandschuh

Zur Interaktion und Bedienung von Elementen im virtuellen Raum wird neben der Positionsbestimmung der Hand durch den Handempfänger noch die Darstellung der aktuellen Fingerstellung benötigt. Dadurch soll eine höhere Akzeptanz der virtuellen Interaktion durch den Benutzer erreicht werden. Hierzu besitzt der Datenhandschuh, der einem gewöhnlichen Handschuh sehr ähnelt, optische Leiter in den einzelnen Fingern. Über die Fingerbeugung und den damit verbundenen veränderten Widerstand im Lichtwellenleiter, kann der Krümmungsgrad des Fingers ermittelt werden. Heutige Datenhandschuhe unterscheiden sich hauptsächlich in dem Grad der korrekten Positionsdarstellung der Finger. Diese wird durch die Anzahl der optischen Lichtwellenleiter im Handschuh beeinflusst.



Abbildung 21: Datenhandschuh „5 Ultra“

Die Preisspanne von Datenhandschuhen angefangen von einem Lichtwellenleiter pro Finger beginnt bei ca. 500 € und geht bis zu 10.000 € für Handschuhe mit mehr als 20 Lichtwellenleitern pro Hand. Bei den teureren Modellen verlaufen zusätzlich Lichtwellenleiter in der Hand um die Darstellung des großen Bewegungsfreiraums des Daumens korrekt zu erfassen.

Für den VRPT war ein günstiger Datenhandschuh gefragt, mit dem einfache Interaktionen mit dem Zeigefinger durchgeführt werden können. Der Datenhandschuh „Data Glove 5 Ultra“ der Firma 5DT war einer der kostengünstigsten mit fünf Lichtwellenleitern. Dieser kalibriert sich bei jedem erneuten Einschalten des Systems neu und setzt den Bereich der maximalen Fingerkrümmung durch Auslesen des minimalen und maximalen Widerstandes. Leider zeigte dieses Modell jedoch zum Ende der Studie hin Probleme, wodurch einige Finger, wie auch der Zeigefinger immer leicht gekrümmt waren.

3.1.6.Audio-System

Zur Steigerung des Realitätsgrads des VRPT, sollte ein Audio-System mit integriert werden. An dem Simulations-PC wurde eine Audio-Surround Anlage angeschlossen. Um den Stuhl S2, wie in Abbildung 22 zu sehen, wurden vier Lautsprecher aufgestellt. Um dem Probanden, der auf dem Stuhl S2 saß, eine möglichst reale Umgebung vorzutäuschen, wurden vom Rechner die zu erzeugenden Geräusche von einer 3D-Sound-Engine in das Audio-System eingespielt. Diese errechnete in Echtzeit die Ansteuerung für die vier Lautsprecher, die an der Audio-Karte des Rechners angeschlossen waren. Die Berechnung erfolgte auf Grundlage der räumlichen Lage der Schallquellen im virtuellen Raum und der ermittelten Kopfposition durch das Tracking-System.

3.2.Aufbau des VRPT

Der Raum des VRPT befand sich gegenüber des Airbus A319 FFS auf der Lufthansa Basis am Frankfurter Flughafen. In dem Raum wurden drei Tische (Skizze T1, T2 und T3) und zwei Stühle (Skizze S1 und S2) aufgestellt.

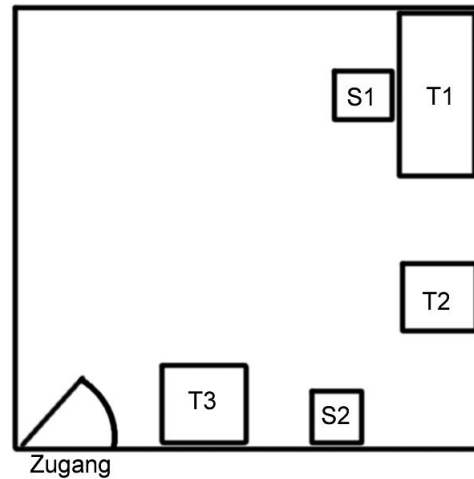


Abbildung 22: Skizze der Räumlichkeiten des VRPT

Auf dem Tisch T1 befinden sich der PC des VRPT mit PC-Bildschirm, Tastatur und Maus. Der Touchscreen wurde am Tisch T1 neben dem Rechner und das Audio-System, sowie der Rechner des Trackingsystem auf dem Tisch T2 installiert. Das HMD und der Datenhandschuh wurden auf dem Tisch T3 vom Probanden abgelegt. Über dem Stuhl S2 hing der Sender „SoniWing“ des Tracking-System. In dem Stuhl S2 wurde eine Druckdose, die durch das Sitzgewicht des Probanden, die Stromzufuhr zum HMD aktivierte installiert. Dadurch sollte das teure HMD vor einer möglichen Beschädigung durch Überhitzung geschützt werden.

3.3.Ablauf des VRPT

Der Proband betrat den Raum und fand auf dem Tisch T1 eine kurze Anleitung zum Ein- und Ausschalten des Systems vor. Nachdem das System mit wenigen Schaltern eingeschaltet wurde, erschien auf dem Touchscreen eine kurze Begrüßung. Für die Studie war es von hoher Wichtigkeit, dass das System ohne großen Betreuungsaufwand, als „Stand-Alone“ System betrieben werden konnte. Daher gab es keine Beaufsichtigung der Studiendurchführung vor Ort. Das System wurde durch den Probanden alleine Ein- und Ausgeschaltet und die Daten vom System automatisch erfasst.



Abbildung 23: Tisch mit Touchpad -PC



Abbildung 24: Tracking mit HMD

Der Proband wurde über Audio gebeten, den ersten Teil des Fragebogen am Touchscreen auszufüllen. Im Anschluss daran, setzte sich der Proband auf den Stuhl S2 und zog den Datenhandschuh an, sowie das HMD auf. Das virtuelle Training begann und nachdem der Proband dieses beendet hatte, füllte er den zweiten Teil des Fragebogen am Touchscreen am Tisch T1 aus. Im Anschluss daran schaltete der Proband das System mit wenigen Schritten gemäß der vor ihm liegenden Anleitung, die in den Abbildungen 81 bis 84 im Anhang zu sehen ist, wieder aus.

Die folgende Abbildung zeigt den Ablauf eines Testdurchlaufs.

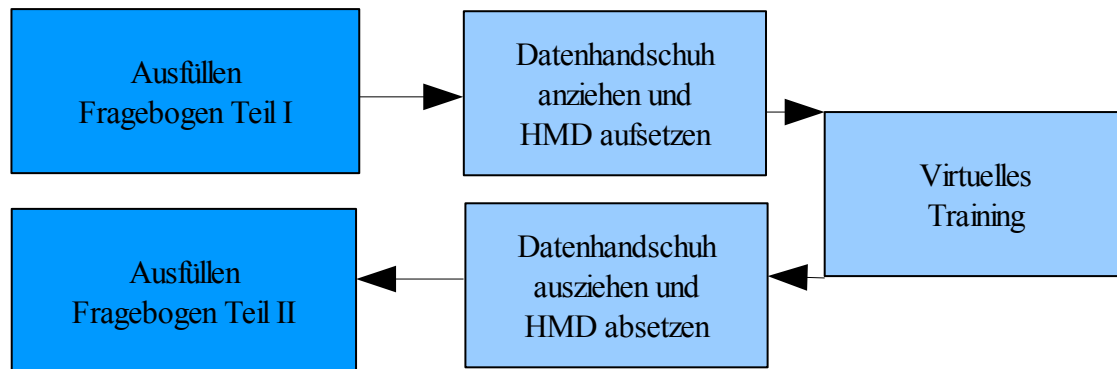


Abbildung 25: Genereller Ablauf des Virtual-Reality-Procedure-Trainer

4. Inhalt der Trainingsszenarien des VRPT

Im folgenden werden der Ablauf und die Inhalte der beiden Trainingsszenarien des VRPT beschrieben. Die Konzeption und Inhalte der beiden Szenarien wurden im Vorfeld von EADS und LH abgestimmt. Dabei wurden die aufgestellten Hypothesen mit berücksichtigt. In den folgenden Kapiteln sollen die Inhalte und Abläufe der Szenarien kurz beschrieben werden.

4.1. Virtueller Trainingsraum (VT)

Der VT wurde unter Vorlage der Fotos und Abmessungen des realen Raums in dem das System installiert wurde von EADS modelliert. Die Probanden sollten nach Aufsetzen des HMD, sich noch zunächst im Umfeld des realen Raumes befinden, um sich zu Beginn in einer virtuellen bekannten Umgebung zu orientieren.



Abbildung 26: Virtueller Trainings Raum

Der VT ist im VRPT Ausgangspunkt für alle Szenarien. Das Audiosystem gibt neben Geräuschen und Effekten auch aufgezeichnete Sprachinformationen wieder. Auf diese Weise wird der Proband durch den VT und die folgenden Szenarien von einem Sprecher begleitet. Der Sprecher gibt Informationen und Hinweise wie zum Beispiel zu Funktionen der virtuellen Hand. Nachdem sich der Proband im virtuellen Raum umgesehen und sich mit dem Datenhandschuh vertraut gemacht hat, wird er aufgefordert, das sich vor ihm schwebende EADS-Logo mit der linken Hand zu berühren. Im Anschluss an diese erste erfolgreiche virtuelle Interaktion, löst sich der Raum in eine grün-schwarze Box auf. Dieser Raum erinnert ein wenig an das „Holodeck“ der Fernsehserie „Star-Trek“. In dieser Science-Fiction-Serie dient das „Holodeck“ der Besatzung als Trainings- und Erholungsraum, in dem beliebige Szenarien mit ihren Umgebungen und Inhalten eingeladen und simuliert werden können.

Dem Probanden stellt sich im VT im Anschluss an die Verwandlung des Raums ein Airbus 320 Flugzeugmodell dar. Dieses schwebt vor dem Probanden und dreht sich um seine Hochachse. Mit Hilfe dieses Modells soll dem Probanden zum ersten mal die stereoskopische Darstellung demonstriert werden. Viele Probanden versuchen in diesem Moment das 3D-Modell zu greifen, und fassen mit der linken Hand ins Leere. Anschließend verschwindet das Flugzeugmodell und der Sprecher stellt dem Probanden die zur Verfügung stehenden Szenarien kurz vor. Die Szenarien werden als jeweils schwebende Platten mit Bildern dargestellt.

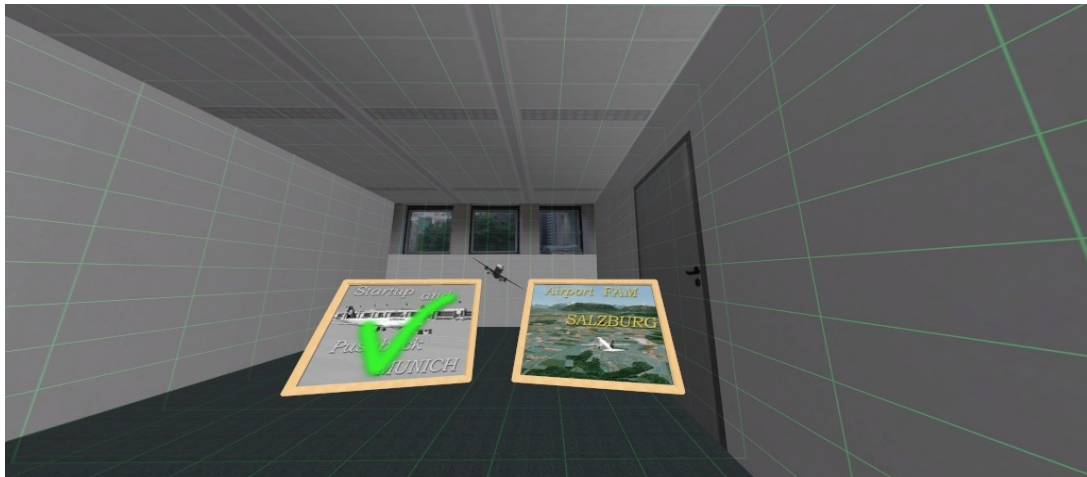


Abbildung 27: Auswahlmöglichkeit eines Szenarios im Virtuellen Trainings Raum

Wie in Abbildung 27 zu sehen, kann der Proband eines der beiden Szenarien über die Interaktion mit der linken Hand auswählen. Die virtuelle Tafel eines bereits durchgeführten Szenarios wird schwarz-weiß mit einem grünen Haken abgebildet. Nachdem ein Proband eines der beiden Szenarien durchgeführt hat, kommt er wieder in den VT zurück und hat die Möglichkeit das andere Szenario auszuwählen oder das Training durch Absetzen des HMD zu beenden. Erfolgt nach drei Minuten keine Interaktion, so wird das Training beendet und der Proband wird gebeten den zweiten Teil des Fragebogen am Touchscreen auszufüllen.

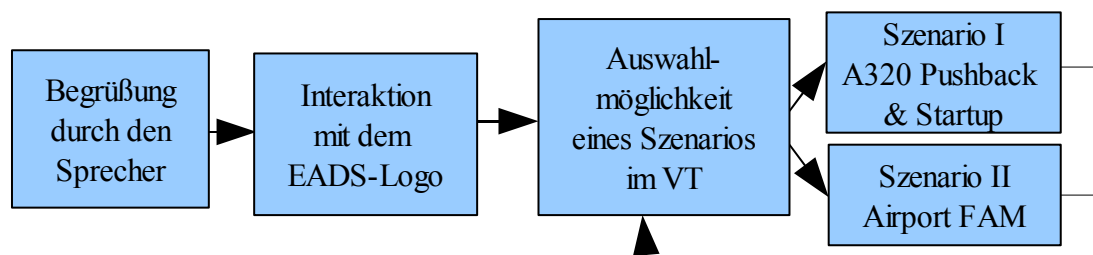


Abbildung 28: Ablauf des VT

4.2.A320 Pushback und Startup Szenario

Um den Einsatz des VRPT zum Erlernen von Prozeduren im virtuellen Raum untersuchen zu können, sollte eine alltägliche unkomplizierte Prozedurfolge gewählt werden. Mit Hilfe dieses Szenarios sollte die Bedienbarkeit von virtuellen Cockpitelementen durch Piloten und der Realitätsgrad, der durch ein solches System erreicht werden kann untersucht werden. Schließlich einigten sich EADS und LH auf das Starten der Triebwerke am Boden mit gleichzeitigem Zurückschieben des Flugzeugs durch das Bodenfahrzeug. Das Flugzeug befindet am Flughafen-Gate in München mit externer Stromversorgung.

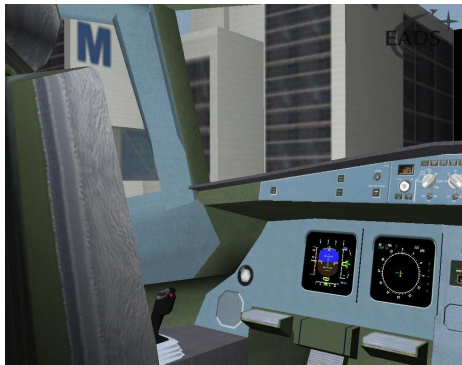


Abbildung 29: Cockpitperspektive Szenario 1



Abbildung 30: Lower ECAM Szenario 1

Zu Beginn des Szenarios befindet sich der Proband in einem virtuellen Überflug über den Münchner Flughafen. Am Gate steht bereits das Flugzeug, der A320 bereit. Mit Hilfe des virtuellen Überflugs soll dem Proband der Ortswechsel zum Flugzeug am Münchner Flughafen veranschaulicht werden. Angekommen am Gate, befindet sich der Proband bereits am Arbeitsplatz eines Kopiloten, im Cockpit eines Airbus 320. Die Cockpitsysteme, sowie die Schalterstellung wurden der Situation entsprechend korrekt dargestellt. Auch die Außensicht, die Flugzeugumgebung wird der Situation entsprechend korrekt visualisiert und simuliert. Dem Probanden wird damit die Sicht auf das Vorfeld des Flughafen München mit einigen anderen Flugzeugen, die an benachbarten Gates stehen ermöglicht.

Um Informationen und Hinweise über Audio wiedergeben zu können, wurden im Szenario 1 unterschiedliche Sprecher verwendet. Ein Sprecher begleitet den Probanden mit Hinweisen durch das gesamte Szenario. Anweisungen erhält der Proband vom virtuellen Kapitän, der links neben ihm sitzt. Dazu wurden die notwendigen Bewegungen des Kapitäns animiert (Körper-, Kopf-, Mund- und Augenbewegung). Die Kommunikation mit dem Tower und der Bodencrew wird über zwei weitere Sprecher realisiert.

Das Szenario verläuft wie ein original Triebwerksstart. Es werden die einzelnen Prozeduren von Kapitän und Copilot (Proband) durchgeführt. Entsprechend der Realität werden die Checklisten gelesen und abgearbeitet. Die Systemparameter die in den Cockpitdisplays beim Starten des Hilfstriebwerks und der Haupttriebwerke angezeigt werden, wurden in einem FFS aufgezeichnet und im VRPT implementiert. Das typische Cockpitgeräusch der Geräte und das Starten der Triebwerke werden über das Soundsystem eingespielt. Zur realistischen Geräuscherzeugung, befinden sich die Lärmquellen der Triebwerke wie in der Realität in den Positionen der beiden Triebwerke. Während des Triebwerkstartes wird das Flugzeug nach Abstimmung mit der Boden-Crew von einem Schlepper-Fahrzeug zurückgeschoben. Nachdem das Flugzeug seine Ausgangsposition erreicht hat, fährt das Bodenfahrzeug weg, was auch in der Außensicht zu sehen ist. Das abschließende Handsignal zur Freigabe des Flugzeugs bekommt der Proband über Sichtkontakt zum Bodenpersonal, welches links vor dem Flugzeug auf dem Vorfeld steht. Anschließend wird in die externe Perspektive gewechselt und der Proband kehrt in den VT zurück.

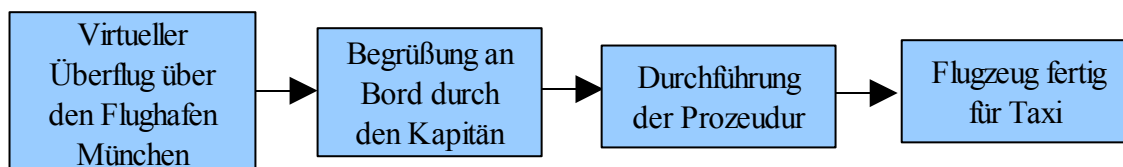


Abbildung 31: Ablauf des Szenario 1

4.3. Airport FAM Szenario

Im zweiten Szenario sollte ein Anflugverfahren an einem als kritisch eingestuften Flughafen vorgestellt werden. Mit Hilfe dieses Szenarios sollte das Potential der räumlichen Visualisierung und Orientierung der VR-Technologie untersucht werden. Informationen zum Flughafen, die bei bisherigen CBT-Systemen dem Piloten über Fotos und Skizzen vermittelt werden, sollten in diesem Szenario mit dem VR-System in einem 3D-Luftraum dargestellt werden. Es stellt sich die Frage, ob sich ein Pilot die räumlichen Gegebenheiten besser und einfacher mit Hilfe einer 3D-Visualisierung aneignen kann.

Als idealen Beispiel-Flughafen für dieses Szenario wurde der als kritisch eingestufte Flughafen Salzburg gewählt. Dieser liegt nördlich von einer Gebirgskette, die im Falle von schlechtem Wetter und eingeschränkter Sicht bei An- und Abflug berücksichtigt werden muss. Daher existieren für Salzburg bestimmte An- und Abflugverfahren, um schnell die notwendige Mindesthöhe zu erreichen, um eine Kollision mit einem Berg zu vermeiden.

Zur realistischen Darstellung wurde ein Anflug von Norden in einem FFS von LFT auf den Salzburger Flughafen aufgezeichnet und die Daten in den VRPT eingespielt. Die Modellierung der Landschaft wurde durch EADS auf Grundlage von Höheninformationen und Satellitenbildern durchgeführt. Die Satellitenbildern besaßen eine Auflösung von bis zu 5m pro Pixel.

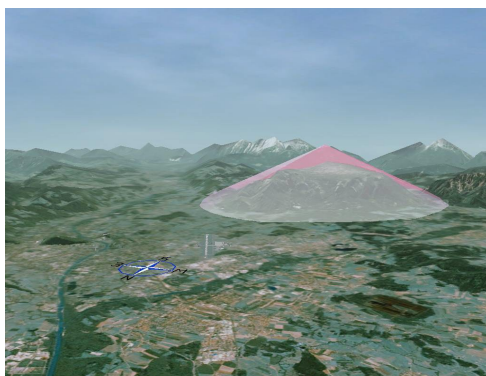


Abbildung 32: Hindernisse in Szenario 2

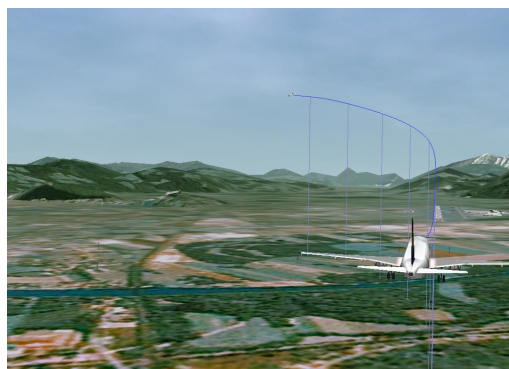


Abbildung 33: Flugpfad des Missed Approach

Das Szenario beginnt mit einem virtuellen Überflug mit freier Sicht ohne Cockpit von Norden nach Süden zum Salzburger Flughafen. Gleich zu Beginn fällt dem Probanden die Gebirgskette im Süden auf. Während des Überflugs hat der Proband die Möglichkeit sich frei umzusehen und wird über Audio vom Sprecher auf einen großen Berg, den „Untersberg“ im Süden des Flughafens hingewiesen. Wie in Abbildung 32 zu sehen, wird dieser durch einen blinkenden transparenten roten Kegel hervorgehoben.

Am Salzburger Flughafen angekommen werden vom Sprecher einige Informationen zur Anflugbefeuerung, zu den Taxiways und der vorwiegend anliegenden Windrichtung gegeben.

Anschließend wird in die Cockpit-Perspektive gewechselt und der Proband befindet sich im Kopilotensitz eines Airbus 320, der sich bereits im Anflug von Norden auf den Flughafen Salzburg befindet. Zur rechten Seite sieht der Proband auf dem Clipboard die Anflugkarte mit den nötigen Informationen für diesen Anflug.

Fluggeräusche und Cockpitanzeigen geben dem Probanden zusätzlich zur Aussensicht Information zur aktuellen Situation und sollen den Realitätsgrad erhöhen. Nach einiger Zeit wird auf die sich herannahenden Berge zur linken und rechten Seite hingewiesen. Der Proband hat während des ganzen Szenarios die Möglichkeit sich frei umzusehen, um sich ein Abbild und eine Orientierung von der Situation zu machen.

Bei einem Zwischenfall muss der Anflug abgebrochen werden. In diesem Fall verläuft der Flugverlauf eines abgebrochenen Anflugs über eine scharfe Linkskurve mit maximaler Steigrate. Der Grund für die scharfe Linkskurve liegt in diesem Fall im gesperrten Luftraum, der sich im Südosten des Flughafens, aus Cockpitperspektive links vor dem Flugzeug befindet. Um den Flugpfad im Luftraum zu zeigen, wird in die externe Perspektive gewechselt. Der Flugverlauf wird mit einer blauen Linie, wie in Abbildung 33 zu sehen ist dargestellt. Mit blinkenden transparenten Flächen wird der Luftraum hervorgehoben, in den das Flugzeug nicht einfliegen darf. Mit der Darstellung des Flugverlaufs soll sich der Proband ein Abbild von der engen räumlichen Gegebenheit machen.

Anschließend wird der normale Anflug aus der Cockpitperspektive bis zur Landung in Salzburg fortgesetzt. Die dabei typischen Höhenangaben, die im Cockpit per Audio wiedergegeben werden, wurden ebenfalls implementiert.

Nach Stillstand des Flugzeugs auf der Landebahn ist das Szenario beendet und der Proband kehrt in den VT zurück.

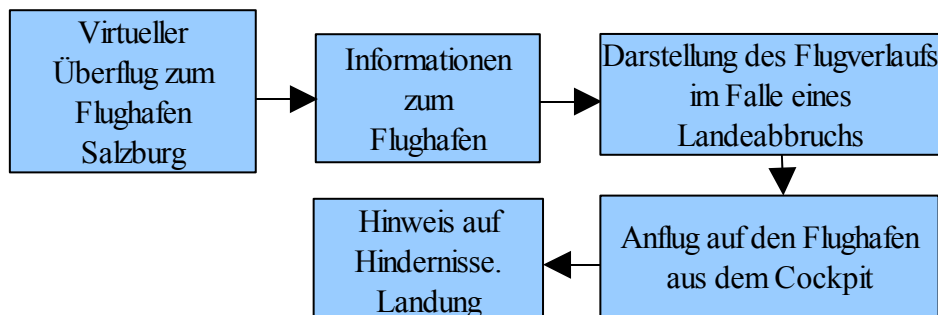


Abbildung 34: Ablauf des Szenario 2

5. Datenaufzeichnung und Analyse der Teilnehmer

Zur Durchführung und Evaluierung der Studie wurden die Ergebnisse nach jeder abgeschlossenen Durchläufs eines Probanden in einer SQL-Datenbank gespeichert. Die Datenbank wurde zum Ende der Studie ausgelesen und in eine Excel-Tabelle exportiert. In diesem Kapitel sollen die aufgezeichneten Parameter kurz vorgestellt und die gesammelten Ergebnisse mit entsprechenden Diagrammen bezüglich der Probanden aufgezeigt werden.

5.1. Aufzeichnung der Daten über den Studienverlauf

Zur Auswertung der Studie zeichnete das System die Eingaben der Fragebögen und Informationen der Szenarien digital. Auf dem Simulations-PC wurde dafür ein SQL-Server zum Speichern der ermittelten Daten eingerichtet. Die folgende Skizze zeigt die einzelnen Abschnitte der Studie bei denen Datenpakete in der SQL-Datenbank abgelegt wurden.

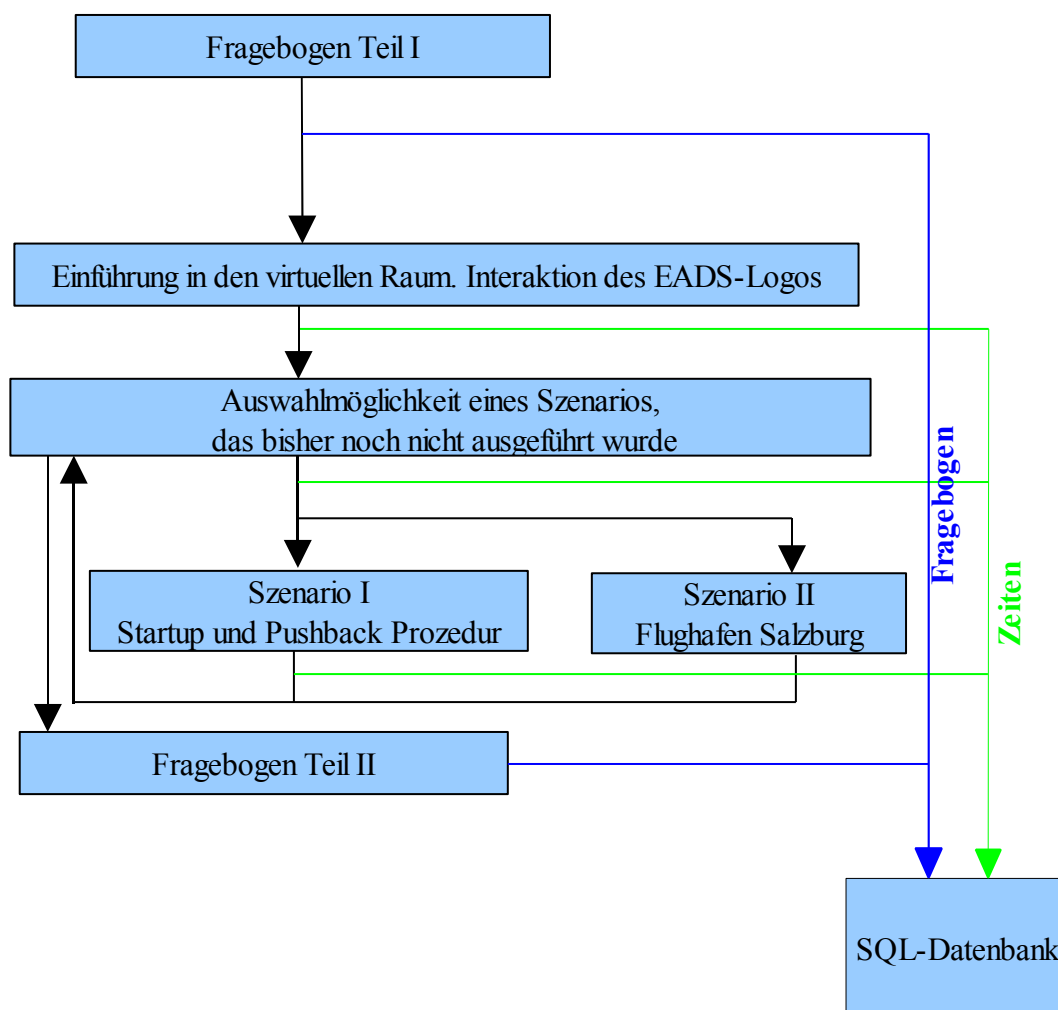


Abbildung 35: Darstellung der SQL-Daten aus dem VRPT

5.2. Inhalt der Fragebögen

Der Fragebogen bestand aus zwei Abschnitten. Im ersten Teil wurden dem Probanden Fragen nach allgemeinen Informationen wie dem Lebensalter, den gesamten Flugstunden, dem Flugzeugmuster, etc. gestellt. Die Inhalte des Fragebogen mussten durch die Personalvertretung der LH genehmigt werden. Ursprünglich angesetzte Fragen nach Kapitän, Geschlecht und Befinden durften jedoch nicht gestellt werden. Dadurch konnte keine Analyse der Einwirkung des Systems auf das Befinden durchgeführt werden. Die Teilnahme an der Studie verlief auf freiwilliger Basis, wodurch eine anonyme Teilnahme gewährleistet werden musste. Der zweite Teil des Fragebogen beinhaltete Fragen zu den Hardwarekomponenten des VRPT, sowie den Eindrücken zu den beiden Szenarien. Die Inhalte des Fragebogen erstellte EADS mit der TU Darmstadt und stimmte diese anschließend mit LH ab.

Im Folgenden werden die Fragen des ersten Teils aufgeführt:

- Bitte geben Sie Ihr Alter an:
- Haben Sie auf der LH-Basis den VRPT schon einmal getestet?
- Flugstunden ca:
- Auf welchem Flugzeugmuster verrichten Sie momentan Ihren Dienst?
- Welche Verkehrsflugzeuge sind Sie vorher schon geflogen?
- Haben Sie Erfahrung mit Computerspielen?
- Haben Sie Erfahrung mit Virtual Reality Systemen?
- Wenn ja?: Haben Sie schon einmal einen Datenhandschuh getragen?
- Haben Sie schon einmal einen VR-Helm getragen?

Die Fragen des zweiten Teils lauteten wie folgt:

- Wie beurteilen Sie die Auflösung des VR-Helms ?
- Wie beurteilen Sie den Sichtbereich (Field of View) des VR-Helms ?
- Wie beurteilen Sie den Tragekomfort des VR-Helms ?
- Wie beurteilen Sie den Tragekomfort des Datenhandschuhs ?
- Wie beurteilen Sie den Realitätsgrad des Szenarios ?
- Wie beurteilen Sie die Anwesenheit des virtuellen Kapitäns ?
- Beurteilen Sie die Bedienbarkeit der virtuellen Cockpit-Elemente ?
- Beurteilen Sie Ihre räumliche Orientierung ?
- Wie empfanden Sie die stereoskopische Darstellung (3D-Sicht) ?
- Wie gut können Sie sich jetzt nach dem Training ein räumliches Abbild des Gebietes um Salzburg machen ?
- Wie beurteilen Sie den Nutzen einen realen Anflug virtuell aus der Cockpit-Perspektive mitzuerleben ?
- Wie empfanden Sie die Auflösung der Satellitenbilder ?

Die Fragebögen sind im Anhang in den Abbildungen 85 bis 86 zu sehen.

5.3. Analyse der Teilnehmer an Hand des Fragebogen

Insgesamt testeten 122 Piloten den VRPT über den Zeitraum der Studie von fünf Monaten. In den folgenden Abschnitten sollen die Teilnehmer an Hand der gesammelten Informationen des ersten Fragebogen analysiert werden.

5.3.1. Aktuelles Flugzeugmuster

Der Großteil der Piloten, etwa 42% gaben an, aktuell das Flugzeugmuster der Airbus 320-Familie zu fliegen. Dies läßt sich durch den großen Anteil der A320 Flotte im Lufthansa-konzern begründen. Piloten mit anderen Airbusmustern als der A320 Familie machten ca. 21% der Teilnehmer aus. Die restlichen 37 % bestanden aus Piloten die aktuell andere Flugzeugmuster als Airbus fliegen. Darunter fallen LH-Piloten der Boeing und McDonnell-Douglas Flotten.

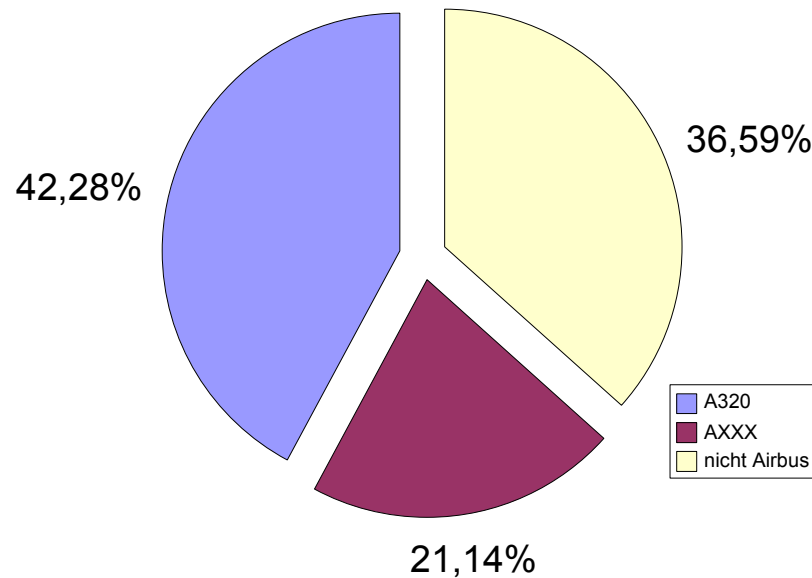


Abbildung 36: Prozentuale Verteilung - Flugzeugmuster

5.3.2. Altersverteilung

Bei der Untergliederung der Teilnehmer nach dem Lebensalter ist klar zu erkennen, dass die jüngere Generation sich verstärkt für diese neue Technologie begeistern konnte.

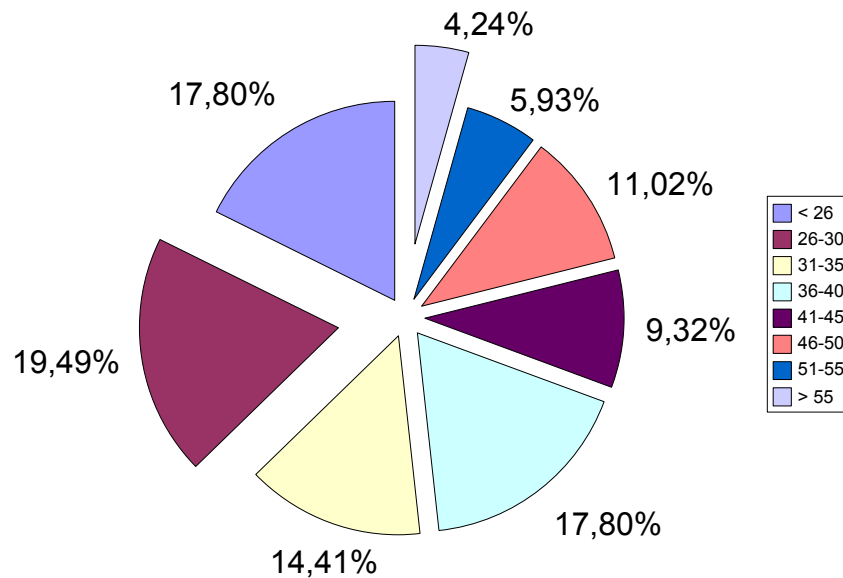


Abbildung 37: Prozentuale Verteilung - Lebensalter

Man erkennt die fallende Kurve der Teilnehmer von der jungen zur älteren Generation hin. Als Erfolg ist die Teilnahme von älteren und sehr erfahrenen Piloten und Kapitänen zu nennen.

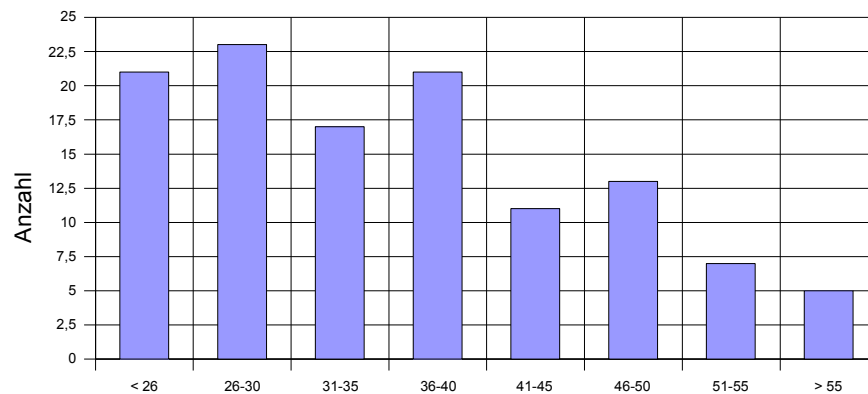


Abbildung 38: Altersverteilung - Teilnehmeranzahl

5.3.3. Gesamte Flugstundenanzahl

Im folgenden soll die Erfahrung der Teilnehmer an Hand der gesamten Flugstundenanzahl dargestellt werden.

Laut Aussage von Lufthansa darf ein LH-Pilot maximal 1000 Flugstunden pro Jahr sammeln. Bei LH geht man von einem durchschnittlichen Wert von 750 Flugstunden pro Jahr aus. Bei der Betrachtung der Abbildung 39 zeigt sich ein hoher Anteil von Probanden mit mehr als 8000 Flugstunden. Diese stellen den größten Anteil von 44% dar.

Erklären läßt sich dies am Beispiel eines Piloten, der mit 24 Jahren bereits im Dienst tätig sein könnte. Dieser Pilot würde mit den angenommenen 750 Flugstunden pro Jahr, im Alter von 34 Jahren bereits die 8000 Flugstunden erreicht haben. Aus diesem Grund müsste folglich der Anteil der Teilnehmer die älter als 36 Jahre sind, den 44% entsprechen. Zusammengerechnet ergibt sich der Anteil aller Teilnehmer älter als 36 Jahre zu 52 %.

Pauschal läßt sich hieraus auch ermitteln, dass etwa 41,8 % der Teilnehmer Lufthansa-Kapitäne sind. Dies geht aus Angaben von LH hervor, wonach fast alle Piloten mit mehr als 8000 Flugstunden, abzüglich 5 % der Kapitänanwärter den Kapitän-Status auf einem Flugzeugmuster besitzen. Daher waren etwas weniger als die Hälfte der Teilnehmer Kapitäne, die den VRPT auf Grundlage ihrer langen Erfahrung mit bewertet haben.

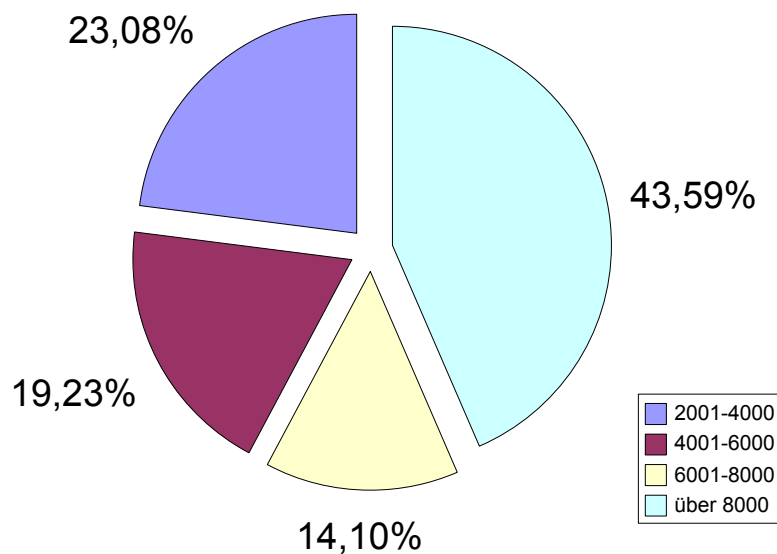


Abbildung 39: Prozentuale Verteilung - Flugstunden

5.3.4. Anzahl der Teilnehmer im Studienverlauf

Die Teilnahme der Probanden an den Szenarien des VRPT soll mit der folgenden Statistik gezeigt werden. Unterschieden wird nach der Anzahl der Teilnehmer die zu Beginn den ersten Teil des Fragebogen (FB1) und nach dem Training den zweiten Teil des Fragebogen (FB2) vollständig ausgefüllt haben. Die Beteiligung an den beiden Szenarien wird ebenfalls aufgeführt. Dabei sollen mögliche Abbrecher erfasst werden, die das virtuelle Training nicht vollständig durchgeführt, sondern vorzeitig beendet haben.

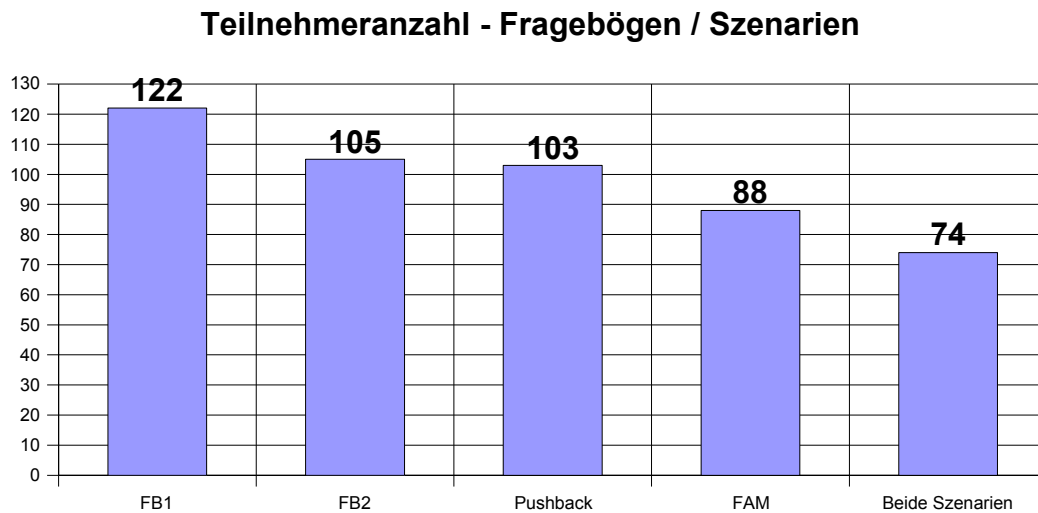


Abbildung 40: Teilnehmeranzahl über den Studienverlauf

Alle 122 Probanden der Studie haben den FB1 vollständig ausgefüllt. Den FB2 haben 105 Teilnehmer abschließend ausgefüllt. 103 Probanden führten das Pushback-Szenario und 88 Teilnehmer die Airport-FAM durch. Beide Szenarien wurden von 74 Probanden vollständig getestet.

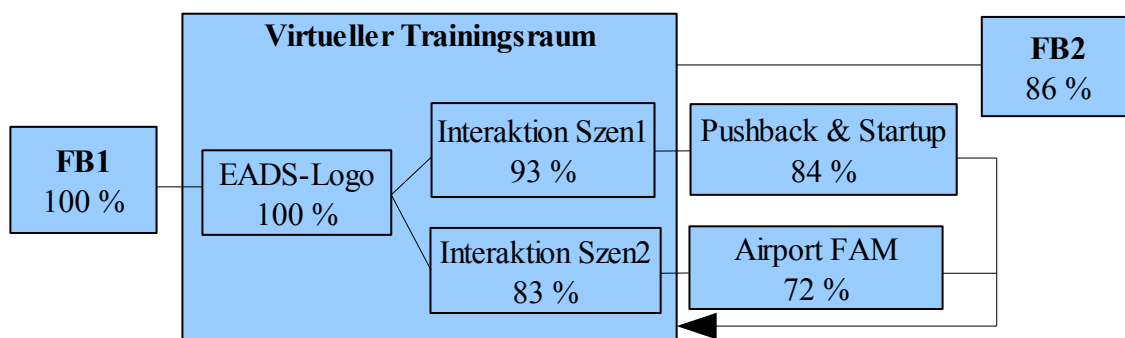


Abbildung 41: Teilnehmerbeteiligung über den Gesamtverlauf des VRPT

Abbildung 41 zeigt, dass alle Teilnehmer nach FB1 die erste Interaktion mit EADS-Logo im VT erfolgreich durchgeführt haben. Die Teilnehmer mussten nicht beide Szenarien durchführen. Es war ebenfalls möglich, nur ein Szenario zu testen und das Training im Anschluss zu beenden. Dabei erkennt man, dass bei der Auswahl im VT ca. 93% die linke virtuelle Fläche und ca. 83% die rechte virtuelle Fläche zum starten des jeweiligen Szenarios wählten. Während des „Pushback und Startup Szenarios“ brachen 9% vorzeitig ab. Im zweiten Szenario, der Airport FAM beendeten 11% vorzeitig. Die Gründe lassen sich nur mutmaßen. So könnte es sich um Teilnehmer handeln, die von dem System bereits

ausreichend gesehen hatten oder im ersten Szenario mit der Interaktion nicht zurecht kamen. Diesbezüglich soll im Kapitel der Interaktionszeiten die Bedienbarkeit untersucht werden. Insgesamt 86% füllten abschließend den zweiten Teil des Fragebogen vollständig aus. Desweiteren können die Abbrecher wie folgt untergliedert werden. Von den 9%, die vorzeitig das erste Szenario beendeten, hatten bereits 5% das zweite Szenario vollständig durchgeführt. Im Vergleich hatten alle 11% der Teilnehmer, die das zweite Szenario vorzeitig abbrachen, den „Startup und Pushback“ begutachtet. Zusammenfassend führten 86% aller Teilnehmer das System von Anfang bis Ende durch, wobei 61% beide Szenarien testeten. Dies ist als Erfolg zu vermerken, da nicht beide Szenarien vollständig durchgeführt werden mussten und die Teilnahme auf freiwilliger Basis beruhte.

5.4.Aufzeichnung weiterer Daten

Zusätzlich zu den erfassten Daten der Fragebogen, wurden Zeiten in Sekunden ermittelt.

Im Folgenden die Zeiten, die in der SQL-Datenbank gespeichert wurden:

- Gesamtzeit des Szenario 1
- Gesamtzeit des Szenario 2

Virtueller Trainingsraum:

- Interaktionszeit mit dem EADS-Logo
- Interaktionszeit mit der linken Fläche zum Starten des Szenario 1
- Interaktionszeit mit der rechten Fläche zum Starten des Szenario 2

Interaktionszeiten im Szenario 1:

- Einschalten der APU mit dem APU-MASTER-Schalter
- Starten der APU mit dem APU-START-Schalter
- Zuschalten der APU-Bleed mit dem APU-BLEED-Schalter
- Abschalten der Nosewheel-Hydraulik mit dem Nosewheel-Schalter
- Einschalten der Nosewheel-Hydraulik mit dem Nosewheel-Schalter
- Abschalten der APU-Bleed mit dem APU-BLEED-Schalter
- Ausschalten der APU mit dem APU-MASTER-Schalter
- Setzen der Spoiler
- Zurücksetzen der Ruderstellung mit dem Ruder-Reset Knopf
- Setzen der Flaps
- Setzen des Pitchtrim
- Setzen der Autobrake Konfiguration auf MAX

5.5.Auswertung der SQL-Datenbank

Zur Auswertung der SQL-Daten konnte über ein zusätzliches Programm der TUD die Daten aus der SQL-Datenbank jeder Zeit einfach exportiert werden. Um einem Datenverlust vorzubeugen, wurde eine Datensicherung der Datenbank monatlich durch das Engineering-Team von LFT mit Hilfe dieses Programms auf einen USB-Stick durchgeführt.

Für die abschließende Auswertung der Studie wurden die Inhalte in eine Excel-Tabelle exportiert. Diese wurde entsprechend der Auswertung aller Parameter aufbereitet und in einzelne Tabellen untergliedert. Dieser Vorgang wird im folgenden Kapitel 6 detaillierter erklärt werden.

6. Evaluierung der Studie

Für die Auswertung wurden die ermittelten Daten in eine Excel-Tabelle überführt. Dabei wurden die Ergebnisse nach mehreren Gruppen gegliedert. Die Auswertung erfolgte über den Mittelwert. Die Gruppierung erstreckte sich über alle Teilnehmer von einer gesamten Übersicht, über die Unterteilung nach dem Flugzeugmuster und der gesammelten Erfahrung über die gesamten Flugstunden, bis hin zur Aufteilung nach dem Lebensalter.

Im Folgenden werden die Bezeichnungen der definierten Gruppen bei der Evaluierung mit einer kurzen Beschreibung aufgeführt.

Gesamt	Alle Teilnehmer
A320	Teilnehmer mit dem Flugzeugmuster der A320 Familie
AXXX	Teilnehmer mit einem Airbus-Flugzeugmuster jedoch nicht A320
nicht Airbus	Teilnehmer mit einem Flugzeugmuster jedoch nicht Airbus
unter 2000	Teilnehmer mit insgesamt weniger als 2000 Flugstunden
2000-4000	Teilnehmer mit insgesamt 2000 bis 4000 Flugstunden
4001-6000	Teilnehmer mit insgesamt 4001 bis 6000 Flugstunden
6001-8000	Teilnehmer mit insgesamt 6001 bis 8000 Flugstunden
über 8000	Teilnehmer mit insgesamt mehr als 8000 Flugstunden

6.1.Subjektive Daten

In diesem Abschnitt sollen alle subjektiven Daten ausgewertet werden, die sich aus den beiden Fragebögen ergaben.

6.1.1.Fragebogen Teil 1

Im Folgenden werden alle Fragen des ersten Fragebogen der Reihe nach aufgeführt und evaluiert.

- Frage: Bitte geben Sie Ihr Alter an:

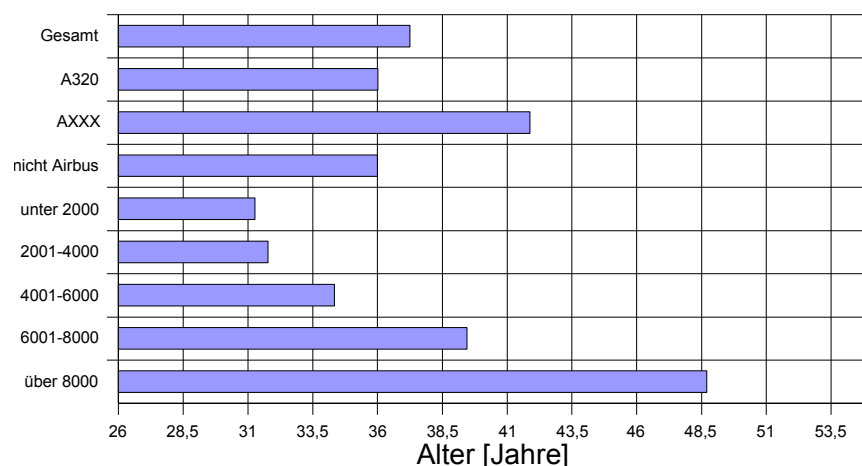


Abbildung 42: Gruppenmittelwerte - Lebensalter

Es ist zu erkennen, dass das durchschnittliche Lebensalter der Probanden bei ca. 37 Jahren liegt. Die A320 und nicht Airbus Flotten haben ein kleineres Durchschnittsalter, was sicherlich mit den klassischen Anfangsmustern A320 und B737 bei den jungen Piloten bei LH zusammenhängt. Die Staffelung des Durchschnittsalter bei den Flugstunden steigt von 2000h bis 4000h langsam an und liegt bei den Probanden mit mehr als 8000h bei ca. 48.5. Wie bereits zuvor erwähnt besitzen fast 50 % der Teilnehmer mehr als 8000 Flugstunden.

- Frage: Haben Sie auf der LH-Basis den Virtual-Reality Procedure Trainer schon einmal getestet?

Diese Frage soll zeigen, ob sich Teilnehmer das System mehrmals angesehen haben. Aus den Daten war zu entnehmen, dass 5% aller Teilnehmer das System noch einmal nutzten.

Sicherlich ist dies auf den knappen zeitlichen Tagesplan der LH-Piloten zurück zu führen und dem Ziel, die Technologie einmal gesehen und probiert zu haben.

- Frage: Flugstunden ca:

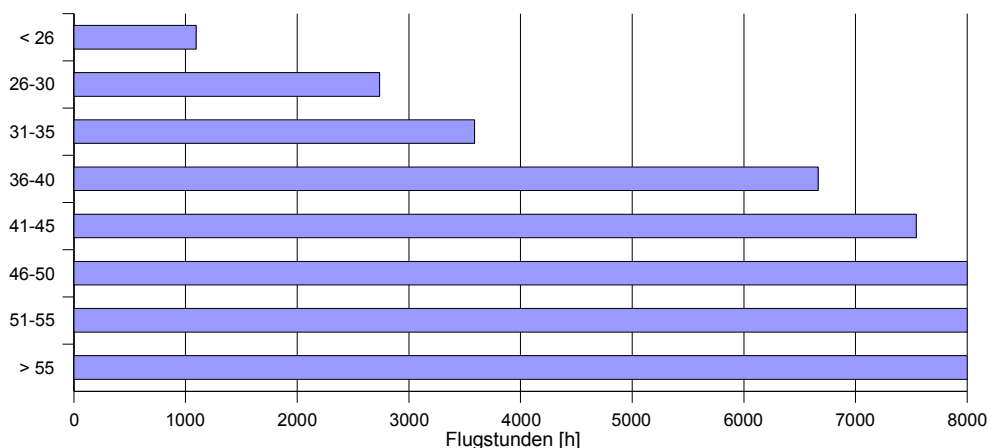


Abbildung 43: Gruppenmittelwerte - Flugstunden

Wie schon im vorigen Kapitel erklärt, besitzen die meisten Piloten, älter als 36 Jahre mehr als 8000 Flugstunden. Der Gesamte Durchschnitt der Teilnehmer liegt bei ca. 4500 Flugstunden. Im Vergleich zu den A320 und nicht Airbus Flotten hat die AXXX Flotte mehr Flugstunden, was wiederum mit den Anfangsmustern und dem damit verbundenen kleinerem Durchschnittsalter zu tun hat.

Bei der Konzeption der Inhalte des Fragebogen, wäre in diesem Punkt eine Staffelung bis zu 20.000 Flugstunden hilfreich gewesen.

- Frage: Auf welchem Flugzeugmuster verrichten Sie momentan Ihren Dienst ?

In Abbildung 36 ist zu erkennen, dass die beiden größten Anteile von A320 und AXXX Piloten gebildet wird. Den kleinen Anteil von 21 % stellen „nicht Airbus“ Piloten. Grund dafür ist wie schon zuvor erwähnt der große Anteil von Airbus-Piloten bei LH.

- Frage: Welche Verkehrsflugzeuge sind Sie vorher schon geflogen?

Bei dieser Frage sollen die Flugzeugtypen ermittelt werden, welche die Piloten in ihrer bisherigen Vergangenheit insgesamt geflogen sind.

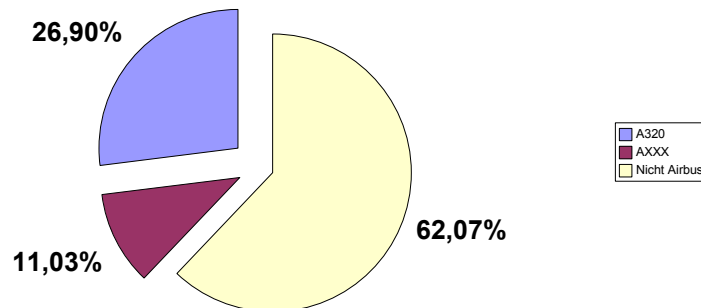


Abbildung 44: Prozentuale Verteilung - Geflogene Flugzeugmuster

Etwa 62 % der Teilnehmer sind vorher ein Flugzeug einer anderen Marke als Airbus geflogen. Hierzu zählen die LH-gängigen Flugzeugtypen wie Boeing und McDonnald Douglas auch andere Flugzeugmuster, die der Pilot in seiner bisherigen Fliegerkarriere geflogen ist. An zweiter Stelle kommen die Flugzeugtypen der A320 Familie mit 27 %. An letzter Stelle stehen die Flugzeuge der Airbus-Flotte, die nicht zur A320 Familie gehören.

- Frage: Haben Sie Erfahrung mit Computerspielen?

Mir dieser Frage sollte herausgefunden werden, in wie weit die Altersgruppen bisher mit Computerspielen in Berührung gekommen sind.

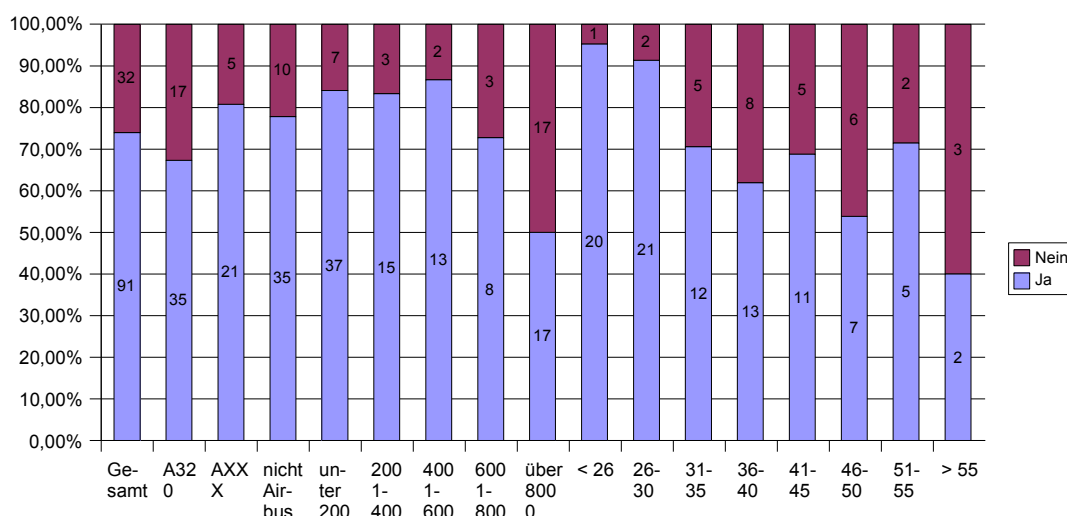


Abbildung 45: Gruppenmittelwerte - Erfahrung mit Computerspielen

Die Statistik zeigt, dass insgesamt viele der Teilnehmer bereits Erfahrung mit Computerspielen gesammelt haben. Bei den Flugstunden ist zu erkennen, dass die spielerische Erfahrung bei den Probanden mit mehr als 6000 Flugstunden abnimmt. Dies ist sicherlich auf die ältere Generation zurückzuführen, die mit der Spieleindustrie nicht aufgewachsen ist. In der Altersunterteilung bestätigt sich diese Vermutung, wonach die meißten Teilnehmer, die bereits in Kontakt mit Computerspielen stehen, jünger als 31 Jahre sind.

- Frage: Haben Sie Erfahrung mit Virtual Reality Systemen?

Der Bekanntheitsgrad und die Erfahrung mit VR-Systemen sollte mit dieser Frage herausgestellt werden.

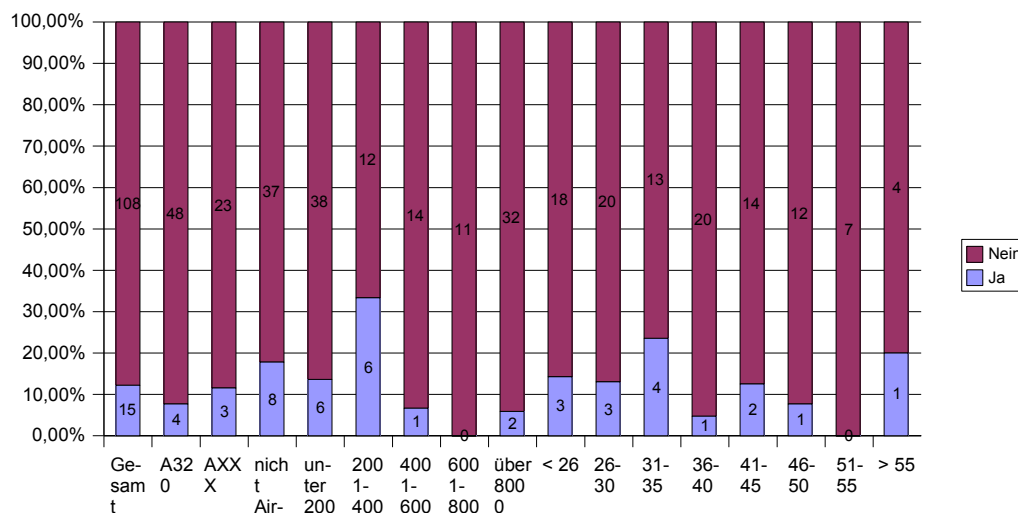


Abbildung 46: Gruppenmittelwerte - Erfahrung mit der VR-Systemen

Es zeigt sich, dass die meisten Probanden bisher keine Erfahrung mit VR-Systemen hatten. Dies liegt sicherlich daran, dass solche Systeme bisher als Technologie nur selten auf Messen zu finden und vorwiegend in der Forschung eingesetzt werden. Auch im Spielmarkt kommt die VR-Technologie weitgehend noch nicht zum Einsatz.

- Frage: Wenn ja?: Haben Sie schon einmal einen Datenhandschuh getragen?

Diese Frage wurde nur Probanden gestellt, die bei der vorherigen Frage eine Erfahrung mit VR-Systemen angegeben hatten. Hier zeigt sich, dass nicht alle Teilnehmer, die bereits mit einem VR-System in Kontakt waren, einen Datenhandschuh getragen haben.

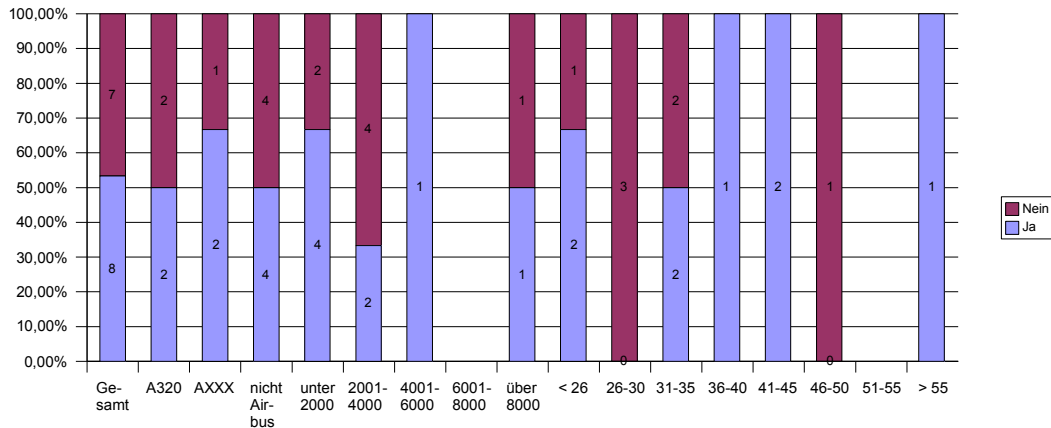


Abbildung 47: Gruppenmittelwerte - Erfahrung mit einem Datenhandschuh

- Frage: Haben Sie schon einmal einen VR-Helm getragen?

Auch diese Frage wurde wie die vorherige nur bei einer vorhandenen Erfahrung mit VR-Systemen dem Probanden gestellt. Hier geben mehr Beteiligte an, schon einmal einen VR-Helm getragen zu haben.

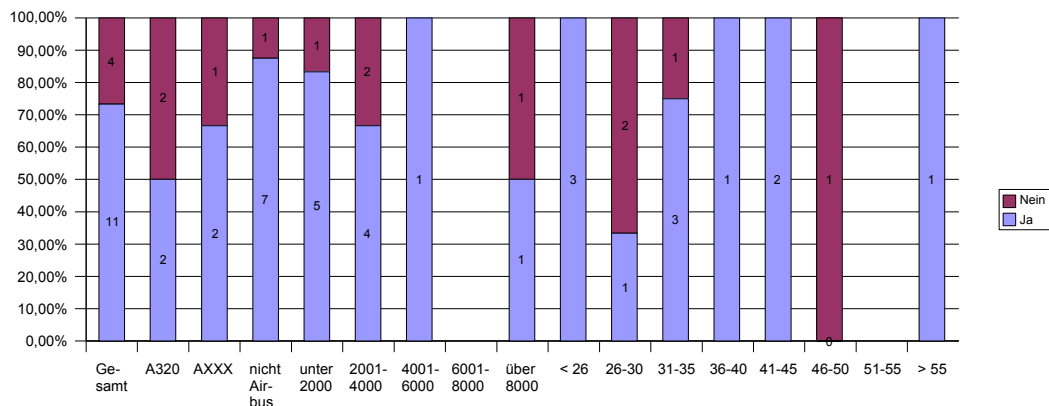


Abbildung 48: Gruppenmittelwerte - Erfahrung mit einem HMD

Man muss berücksichtigen, dass die Definition von Virtual-Reality heutzutage sehr weitläufig ist, und teilweise schon einfache 3D-Spiele auf einem PC fälschlicherweise mit einer 3D-Darstellung am Bildschirm als immersives VR-System verstanden werden. Eventuell bekamen aber auch einige Piloten ein VR-System auf Messen nur zu Gesicht und erhielten keine Gelegenheit, dieses ausprobieren zu können.

6.1.2.Fragebogen Teil 2

In diesem Abschnitt werden die Fragen des zweiten Fragebogenteils der Reihe nach aufgeführt und ausgewertet.

- Frage: Wie beurteilen Sie die Auflösung des VR-Helms ?

Diese Frage zielte auf die Leistungsfähigkeit des HMD bezüglich der Auflösung der LCDs.

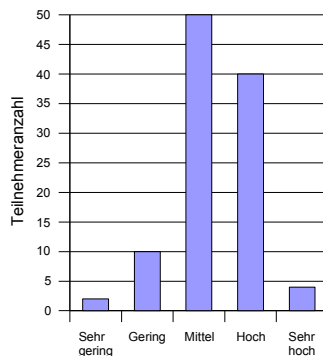


Abbildung 49: Gesamtverteilung - HMD-Auflösung

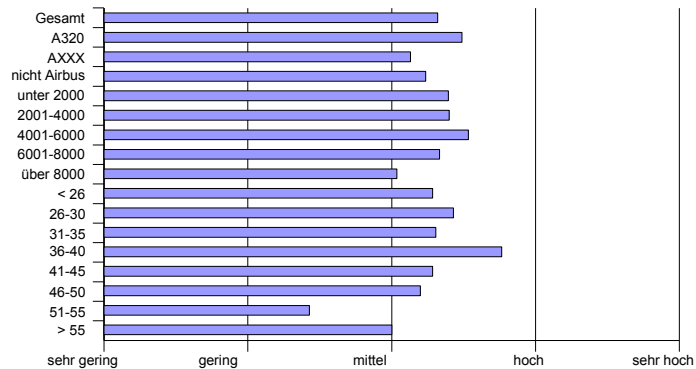


Abbildung 50: Gruppenmittelwert - HMD-Auflösung

Die Beurteilung der Auflösung des HMD fällt durchschnittlich aus. Es ist hierbei zu beachten, dass das verwendete HMD Kaiser Proview XL50 zu diesem Zeitpunkt bereits seit fast 3 Jahren auf dem Markt erhältlich war. Die daher vergleichsweise zu anderen HMDs ältere Technologie, galt als zuverlässig, reizte aber nicht die aktuell technischen Möglichkeiten aus. Weitere Gründe bezüglich der Entscheidung für dieses HMD sind auch im Kapitel 3 zu finden. In der Gesamtverteilung ist klar zu erkennen, dass die meisten Probanden den HMD mit „mittel“ und „hoch“ einstufen.

- Frage: Wie beurteilen Sie den Sichtbereich (Field of View) des VR-Helms ?

Auch diese Frage sollte die Leistungsfähigkeit des HMD beleuchten. Der Sichtbereich der HMDs ist oft noch nicht ausreichend. Gerade im fliegerischen Bereich spielt der periphere Sichtbereich eine große Rolle.

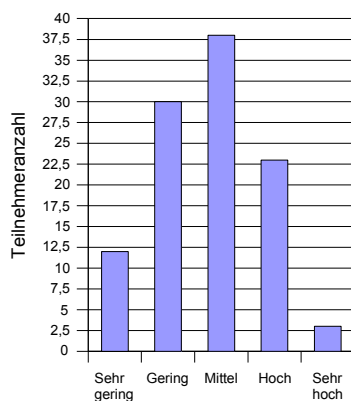


Abbildung 51: Gesamtverteilung - HMD-Sichtbereich

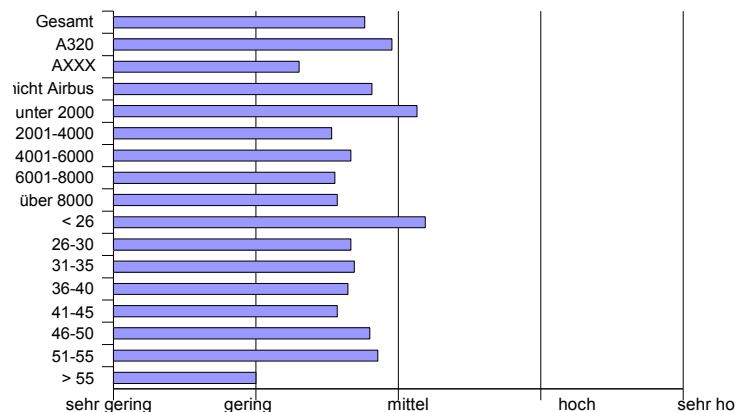


Abbildung 52: Gruppenmittelwerte - HMD-Sichtbereich

Der Sichtbereich, der sich dem Probanden ohne Kopfbewegung durch das HMD eröffnet, wurde von den Teilnehmern unter dem Mittel bewertet. Wie schon in Kapitel 3.1.3 erwähnt, fehlt im HMD der periphere Sichtbereich. Die Teilnehmer über 55 Jahre, stuften das FOV mit gering ein. Hier müsste in Zukunft auf ein neueres HMD-Modell zurückgegriffen werden, welches einen größeren Sichtbereich bis zu 120° horizontal bietet.

- Frage: Wie beurteilen Sie den Tragekomfort des VR-Helms ?

Die Akzeptanz des HMD bezüglich seines Tragekomforts ist ein elementarer Punkt des VRPT. Nur ein bequemes System wird von den Piloten akzeptiert und zum Einsatz kommen.

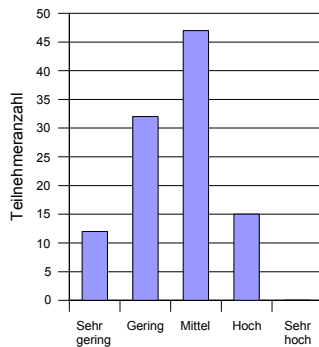


Abbildung 53: Gesamtverteilung - HMD-Tragekomfort

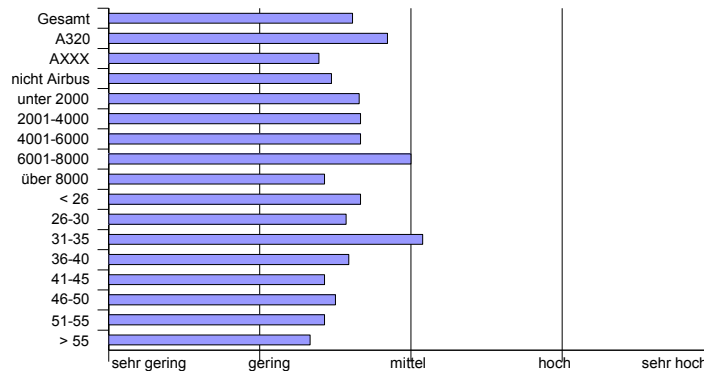


Abbildung 54: Gruppenmittelwerte - HMD-Tragekomfort

Die Beurteilung fiel knapp über „gering“ aus. Da in der zivilen Fliegerei die Piloten beim Fliegen keine Helme tragen, wirkt das HMD für die Probanden als störend. Im Gegensatz dazu sind militärische Piloten an einen Helm in der Fliegerei gewöhnt. Ein leichteres und kleineres HMD würde von den zivilen Piloten sicherlich besser akzeptiert werden. In der Gesamtverteilung zeigt sich, dass einige Piloten den Tragekomfort mit „sehr gering“ und „gering“ bewerteten.

Es ist abzuwarten, was die Entwicklung im Spielmarkt bezüglich ergonomischer und kompakter HMDs bringen wird. Da der VRPT ein „Standalone“-System war, mussten die Probanden das HMD alleine aufsetzen. Auf Grund der vielfältigen Einstellmöglichkeiten des HMD zur Anpassung an den Kopf, kann es bei einigen Teilnehmern möglich gewesen sein, dass das HMD nicht korrekt an die Kopfform angepasst wurde.

- Frage: Wie beurteilen Sie den Tragekomfort des Datenhandschuhs ?

Denen dem HMD trägt der Proband beim VRPT auch einen Datenhandschuh. Der Tragekomfort gilt auch hier als wichtige Voraussetzung für eine Akzeptanz des VRPT.

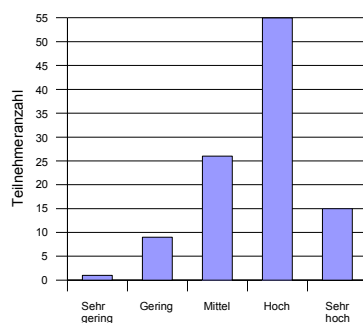


Abbildung 55: Gesamtverteilung - Datenhandschuh-Tragekomfort

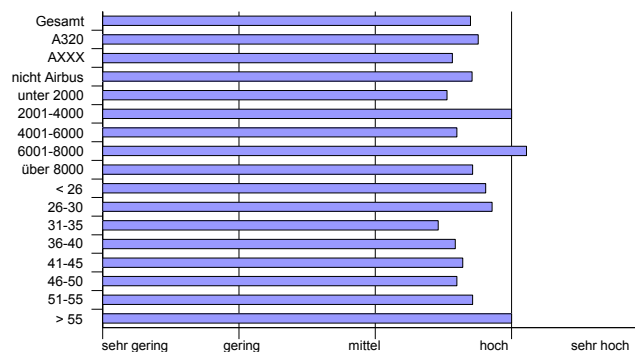


Abbildung 56: Gruppenmittelwerte - Datenhandschuh-Tragekomfort

Der Datenhandschuh erhielt eine überdurchschnittliche Bewertung bezüglich des Tragekomforts. Dazu führte sicherlich das leichte Material und die Ähnlichkeit mit einem gebräuchlichen Handschuh. In der Gesamtverteilung ist klar zu erkennen, dass der Tragekomfort von den meisten Teilnehmern mit „hoch“ bewertet wurde.

Nur wenige Probanden gaben eine schlechte Bewertung hinsichtlich des Tragekomforts des Datenhandschuhs ab.

- Frage Szenario 1: Wie beurteilen Sie den Realitätsgrad des Szenarios ?

Damit sollte der gesamte Eindruck des ersten Szenario wiedergegeben werden. Bei der Entwicklung des VRPT wurde versucht, den Gesamteindruck mit den zur Verfügung stehenden finanziellen und zeitlichen Vorgaben umzusetzen. Dazu gehörten Details wie beispielsweise funktionale Triebwerksanzeigen im Cockpit und das belebte, sichtbare Flughafenvorfeld mit Flugzeugen und Pushbackfahrzeug. Durch das 3D-Audio-System sollte der Realitätscharakter mit verstärkt werden.

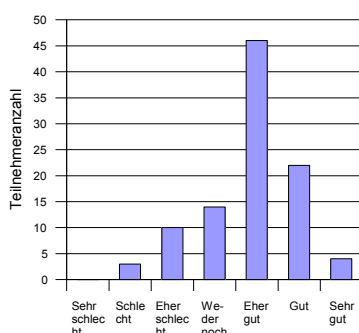


Abbildung 57: Gesamtverteilung - Szenario 1 - Realitätsgrad

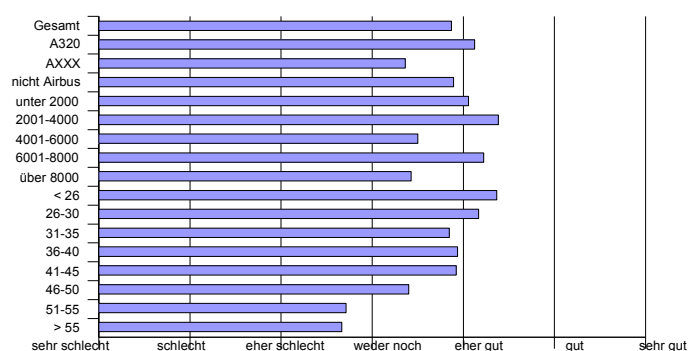


Abbildung 58: Gruppenmittelwerte - Szenario 1 - Realitätsgrad

Die Bewertung fällt im Durchschnitt mit „eher gut“ aus. Auf Grund der knappen Entwicklungszeit des VRPT wurde das Potential der Realitätsnähe durch Audio und Szenario-Umfeld nicht vollständig ausgeschöpft. Daher kann das Ergebnis als Erfolg für den VRPT gewertet werden.

- Frage Szenario 1: Wie beurteilen Sie die Anwesenheit des virtuellen Kapitäns ?

In dem ersten Szenario wurde ein virtueller Kapitän implementiert. Dieser gab dem Teilnehmer, der als Copilot fungierte, Anweisungen und führte mit ihm gemeinsam die anstehenden Checklisten der Prozeduren durch. Zu Beginn der Studie begutachtete man einen virtuellen Kapitän in Fachkreisen der LH noch sehr kritisch.

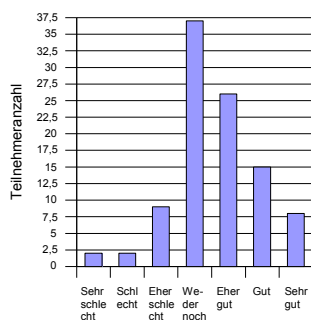


Abbildung 59: Gesamtverteilung - Virtueller Kapitän

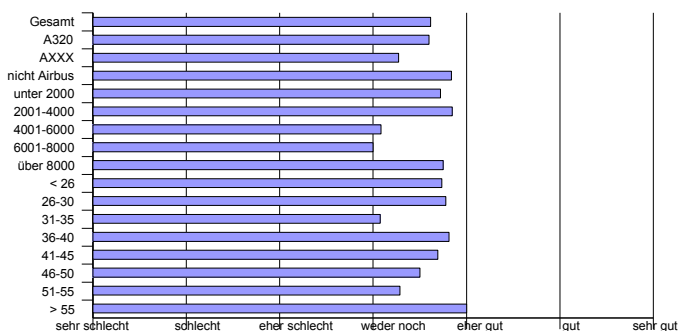


Abbildung 60: Gruppenmittelwerte - Virtueller Kapitän

Als Ergebnis zeigt sich jedoch eine überdurchschnittlich positive Bewertung des virtuellen Kapitäns. Besonders die Einschätzung der sehr erfahrenen Kapitäne die älter als 55 Jahre sind, zeigt die Akzeptanz einer virtuellen Person in einem VR-Szenario. Hierbei ist mit zu berücksichtigen, dass das Entwicklungspotential, welches in dieser Studie eingesetzt wurde, bei weitem nicht ausgeschöpft wurde.

- Frage Szenario 1: Beurteilen Sie die Bedienbarkeit der virtuellen Cockpitelemente ?

Die Bedienung der Cockpitschalter wurde im VRPT mittels Datenhandschuh durchgeführt. Mit dieser Frage sollte die Akzeptanz und Bedienbarkeit in Erfahrung gebracht werden.

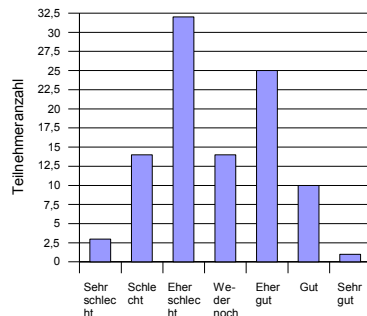


Abbildung 62: Gesamtverteilung – Bedienbarkeit der Cockpitelemente

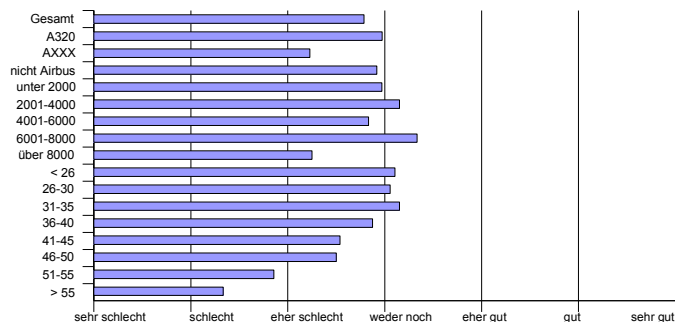


Abbildung 61: Gruppenmittelwerte - Bedienbarkeit der Cockpitelemente

Es zeigt sich, dass die Bewertung unter dem Durchschnitt ausfällt. Mit Zunahme des Lebensalters verschlechtert sich die Bewertung. Leider zeigte sich während der Studie, dass der Datenhandschuh der Firma 5DT Probleme bei der Kalibrierung hatte. Dadurch war es während der Studie für viele Probanden nicht möglich, den virtuellen Zeigefinger in einen gestreckten Zustand zu bringen. Sicherlich führte dieses technische Problem zu einer Abwertung bei der Beurteilung dieser Frage.

In Abbildung 63 ist ein Vergleich bezüglich der Bewertung der Bedienbarkeit der virtuellen Cockpitelemente zwischen A320-Piloten und nicht-Airbus Piloten dargestellt. Die Szenarien des VRPT fanden in einem A320 Cockpit statt. Dieses unterscheidet sich stark von anderen nicht-Airbus Cockpits. Daher könnte man erwarten, dass nicht-Airbus Piloten bei der Bedienung des A320-Cockpits Schwierigkeiten hatten. Es zeigt sich, dass der Großteil der nicht-Airbus Piloten die Bedienung mit „eher schlecht“ bewertet. Hingegen 13 Airbus-Piloten die Frage mit „eher gut“ beantworteten.

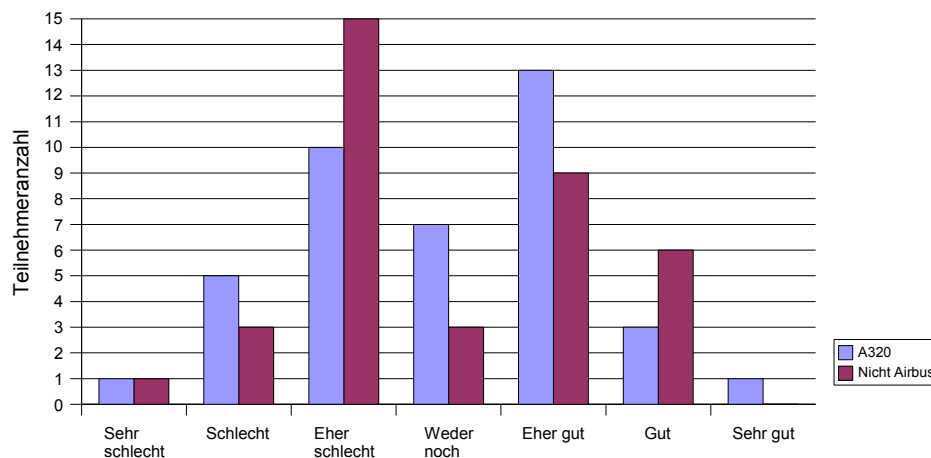


Abbildung 63: Bedienbarkeit der Cockpitelemente - A320 / nicht Airbus

In der Gesamtverteilung zeigen sich zwei Schwerpunkte bei „eher schlecht“ und „eher gut“. Dies ist eventuell darauf zurück zu führen, dass bei einigen Teilnehmern der Datenhandschuh gut und bei anderen Probanden leider schlecht funktionierte.

- Frage Szenario 1: Beurteilen Sie Ihre räumliche Orientierung ?

Einer der großen Vorteile der VR-Technologie ist die räumliche Orientierung in 3D-Szenen. Mit dieser Frage sollte die Einschätzung der Teilnehmer zu der erlebten räumlichen Orientierung in Erfahrung gebracht werden.

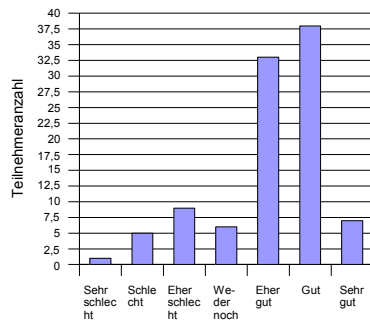


Abbildung 64: Gesamtverteilung - Räumliche Orientierung

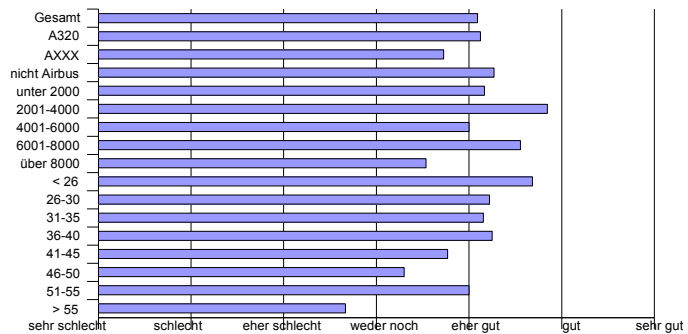


Abbildung 65: Gruppenmittelwerte - Räumliche Orientierung

Es zeigt sich in Abbildung 64, dass der überwiegende Teil der Probanden die räumliche Orientierung wie erwartet positiv bewertete.

- Frage Szenario 1: Wie empfanden Sie die stereoskopische Darstellung ?

Diese Frage stellt die Besonderheit, dem Probanden visuell das Bild stereoskopisch darzustellen zu können in den Vordergrund. Die Stereoskopie bringt Plastizität und Realität und lässt den Probanden Entfernungen im Raum besser einschätzen..

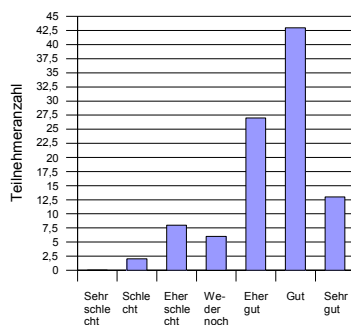


Abbildung 66: Gesamtverteilung - Stereovisualisierung

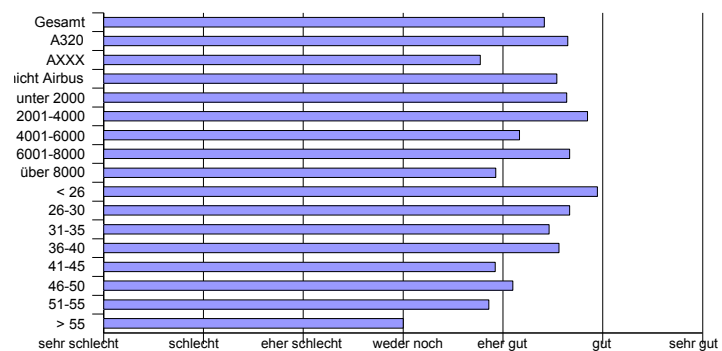


Abbildung 67: Gruppenmittelwerte - Stereovisualisierung

Diesen Eindruck empfanden jüngere Teilnehmer als eher positiv. Tendenziell sinkt diese Bewertung jedoch mit zunehmendem Lebensalter auf „weder noch“ ab. Ein Grund dafür könnte die relativ neue 3D-Technologie sein, die bei der jüngeren Generation eine größere Akzeptanz findet.

- Frage Szenario 2: Wie gut können Sie sich jetzt nach dem Training ein räumliches Abbild des Gebietes um Salzburg machen ?

Mit dieser Frage sollte die Leistungsfähigkeit der VR-Technologie bei der Vermittlung von räumlichen Informationen bezüglich der Orientierung erörtert werden.

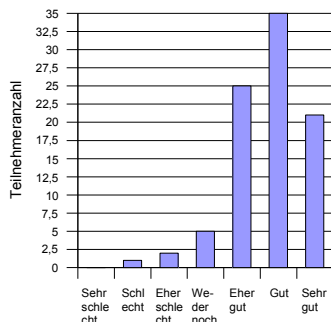


Abbildung 68: Gesamtverteilung – Orientierung Szenario 2

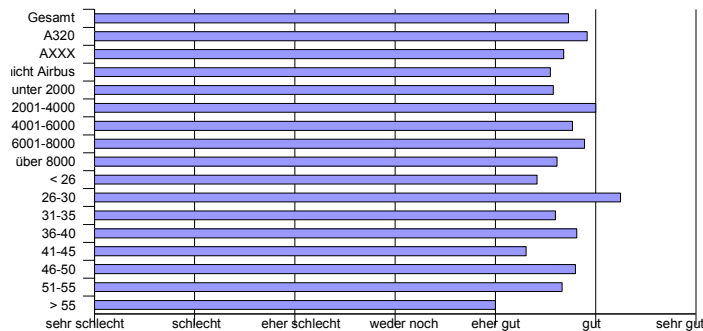


Abbildung 69: Gruppenmittelwerte – Orientierung Szenario 2

Im Durchschnitt hatten die Teilnehmer den Eindruck, sich nach dem virtuellen Training ein gutes Abbild von dem Flughafengebiet machen zu können. Die Bewertung mit „gut“ bekräftigt das Potential des Systems, Informationen von räumlichen Gegebenheiten besser vermitteln zu können. Auch in der Gesamtverteilung sind nur wenige Ausnahmen zu erkennen, die diesen Eindruck mit einer Bewertung schlechter als „Weder noch“ abgaben.

- Frage Szenario 2: Wie beurteilen Sie den Nutzen, einen realen Anflug virtuell aus der Cockpit-Perspektive mitzuerleben ?

Um den visualisierten Anflug im zweiten Szenario so realistisch wie möglich umzusetzen, wurden die Daten von einem Anflug auf den Salzburger Flughafen im FFS aufgezeichnet. Die Frage richtet sich danach, in wieweit die Probanden einen Nutzen von diesem Anflug aus der Cockpitperspektive hatten.

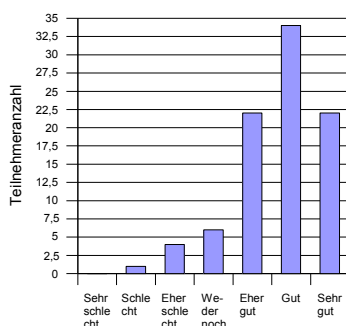


Abbildung 70: Gesamtverteilung - Anflug Szenario 2

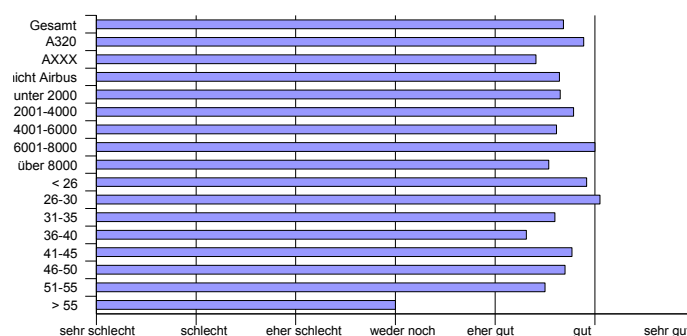


Abbildung 71: Gruppenmittelwerte - Anflug Szenario 2

Aktuell wird im Piloten-Training die Vorbereitung auf einen unbekannten Flughafen, der angefliegen werden soll, nur teilweise mit dem Medium CBT, aber hauptsächlich mit vorliegenden Anflugkarten durchgeführt. Die Bewertung fiel mit einem knappen „gut“ zum Nutzen eines solchen Anflugs aus, was die Einsetzbarkeit eines VR-Systems zur Vorbereitung auf Flughäfen bestätigt. In Abbildung 70 zeigt sich der Schwerpunkt im Bereich „gut“. Die Probanden, die älter als 55 Jahre waren, bewerteten den Nutzen als mit „weder noch“. Hier spielt sicherlich die große Erfahrung dieser Probanden eine große Rolle, die eine effiziente Vorbereitung mit den zur Verfügung stehenden Anflugkarten vorziehen.

- Frage Szenario 2: Wie empfanden Sie die Auflösung der Satellitenbilder ?

Mit dieser Frage sollte in Erfahrung gebracht werden, ob die Satellitenbilder mit einer ausreichend guten Auflösung empfunden wurden. Die Beschaffung von guten Satellitenbildern, ist auch in der heutigen Zeit, trotz der internationalen Datenbibliothek, dem Internet, schwierig. Satellitenbilder mit einer höheren Auflösung von 5m sind beispielsweise auf dem freien Markt nicht erhältlich. Satellitenbilder mit einer höheren Auflösung sind oft für militärische Zwecke nur erhältlich. Auch der Kostenfaktor ist nicht aus den Augen zu verlieren, da mit verbesserter Auflösung auch der Preis im Einkauf pro km² steigt.

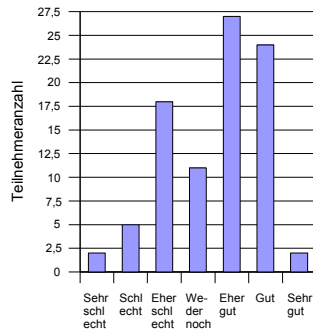


Abbildung 72: Gesamtverteilung - Auflösung der Satellitenbilder

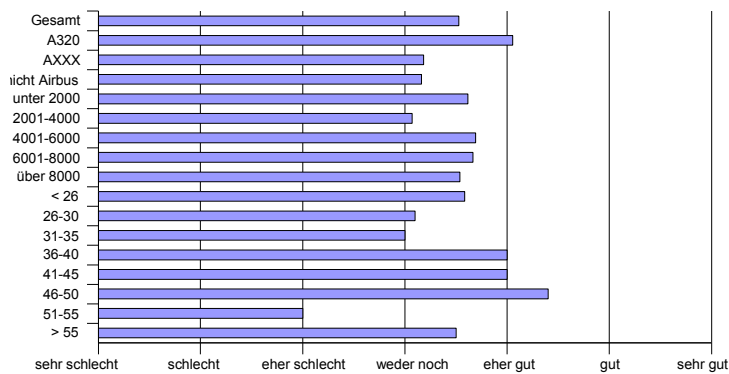


Abbildung 73: Gruppenmittelwerte - Auflösung der Satellitenbilder

Die durchschnittliche Bewertung über dem Durchschnitt zeigt, dass eine Airport-FAM mit Satellitenbildern mit einer Auflösung von 5 m pro Pixel möglich ist. Dies bestätigt sich dadurch, dass die Qualität der Satellitenbilder von VRPT und FFS nahezu gleich sind.

6.1.3.Handschriftliches Feedback

Die Bewertung des VRPT sollte auf Grundlage der beiden Fragebögen und der aufgezeichneten Daten aus dem Virtuellen-Training durchgeführt werden. Um den Probanden auch eine Möglichkeit zu geben, frei Kritik oder Anregungen äußern zu können, wurden am Tisch T1 Feedbackblätter in DIN-A4 ausgelegt.

Sehr gute Anwendung	57 %
Gute 3D Orientierung / Szenario 2	29 %
Unfunktionalität der Finger	29 %
Helm zu schwer	26 %
Übelkeit	23 %
Taktisches Feedback fehlt bei Interaktion	17 %
Sichtbereich des HMD zu klein	17 %
Cockpitdisplays mit HMD war schlecht lesbar	14 %
Anwendung könnte zukünftiges CBT sein	11 %
Bildausfälle im HMD	6 %
Ladefehler beim Einschalten des Systems	3 %
Hygiene ausreichend ?	3 %
System in der Praxis nicht brauchbar	3 %

Abbildung 74: Ergebnisse der Feedbackzettel

Hier konnten die Teilnehmer frei weitere Informationen vermerken und das Feedbackblatt in den aufgestellten Briefkasten am Tisch T1 einwerfen. Das Feedbackblatt ist im Anhang in Abbildung 87 zu sehen.

Insgesamt füllten ca. 30% aller Teilnehmer freiwillig umfangreich einen Feedbackzettel aus. Die Inhalte wurden nach Aussagen sortiert vermerkt und gezählt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 74 aufgeführt und sollen im Folgenden erläutert werden.

Am häufigsten wurde mit 57 % der VRPT als sehr gute Anwendung vermerkt. Etwa 29 % der Probanden empfanden eine gute 3D-Orientierung, gerade im Szenario 2, der Airport-FAM.

Die Problematik mit dem Handschuh, die zu einer Fehlfunktion des Zeigefingers führte, wurde von 29 % erwähnt. Das HM wurde von 26 % der Probanden als zu schwer eingestuft. 23 % empfanden während oder nach dem virtuellen Training Übelkeit. Hier ist zu beachten, dass möglicherweise der zu kleine Sichtbereich des HMD schon bei einigen Personen zu Übelkeit führen könnte. Als Beispiel wäre ein kleiner Versuch zu nennen, wobei man einen offenen Karton vor das Gesicht hält, um den Sichtbereich künstlich einzuschränken. Beim Fortbewegen durch einen Gang merkt man schnell das verminderte Gleichgewicht. Der Grund liegt darin, dass das Gleichgewichtsorgan des Menschen mit vom peripheren Sehen, gerade im horizontalen Bereich unterstützt wird.

Das System wurde von einem Probanden als in der Praxis nicht einsetzbar vermerkt.

Das fehlende, taktische Feedback bei der virtuellen Interaktion wurde von 17 % erwähnt. Um dieses zu verwirklichen, könnte ein Aufbau mit einfachen Platten, ausgerichtet nach den Positionen der Cockpitpanels ein taktisches Feedback vermitteln. Eine Konstruktion mit einfachen Cockpitplatten wäre aber umsetzbar. Der VRPT wurde jedoch im Rahmen dieser Studie als mobiles und kompaktes System angedacht, was bei einer solchen Umsetzung nachteilig gewesen wäre.

Der zu kleine Sichtbereich des HMD wurde von 17 % kritisiert. Die Lösung würde in der Nutzung eines neueren HMD mit größerem FOV liegen. 11 % der Teilnehmer sehen den VRPT als zukünftiges Medium im CBT-Training. Bildausfälle wurden von 6 % vermerkt.

Da der gleiche Handschuh von vielen Probanden genutzt wurde, stellten 3% den hygienischen Faktor in Frage. Bei einem zukünftigen Einsatz mit einem Datenhandschuh sollte dieser Punkt erneut diskutiert und bewertet werden.

Systemladefehler wurden nur von einem Teilnehmer erwähnt, was als Erfolg zu vermerken ist, da das System während der gesamten Studiendauer von 5 Monaten ansonsten problemlos funktionierte. Kleinere Systemausfälle lassen sich bei einer derartigen komplexen Hardware nur schwer zu 100% vermeiden. Die Zuverlässigkeit der verwendeten Hardware, bis auf den Datenhandschuh kann hiermit bestätigt werden.

6.2. Objektive Daten

Um die Bedienung von virtuellen Objekten bewerten zu können, wurden Zeiten ermittelt. Bei der Auswertung dieser Daten soll ermittelt werden, ob möglicherweise bestimmte virtuelle Schalter schlecht bedienbar waren.

Im Folgenden zeigt sich zunächst, dass die durchschnittliche Durchführungszeit des „Pushback und Startup Szenario“ bei etwa 9,5 Minuten lag. Die Bestzeit wurde mit 7,8 Minuten ermittelt, die maximal gebrauchte Zeit eines Probanden wurde mit 16,5 Minuten erfasst.

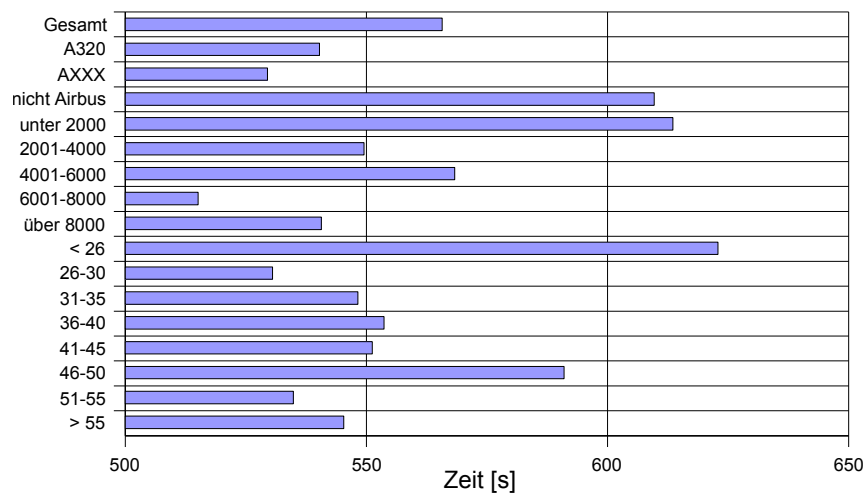


Abbildung 75: Gruppendurchschnittswerte - Gesamtzeit Szenario 1

Aus Abbildung 76 ist zu erkennen, dass die meisten Probanden zwischen 500 und 600 Sekunden für das Szenario 1 brauchten. In der Realität benötigt ein Triebwerksstart mit Pushback etwa 5 bis 8 Minuten. Dieser Zeitrahmen wurde von 20% der Teilnehmer erreicht.

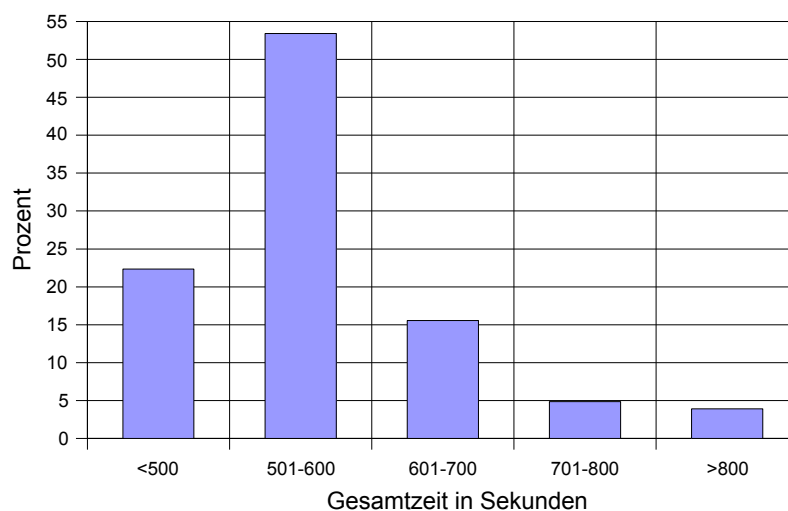


Abbildung 76: Gesamtverteilung - Gesamtzeit Szenario 1

Zuvor wurde in Abbildung 63 die Bewertung der Bedienbarkeit zwischen A320 und nicht-Airbus Piloten subjektiv verglichen. In Abbildung 77 zeigt sich, dass die Gesamtzeit des Szenario 1 von 30% A320 Piloten mit weniger als 500 Sekunden durchgeführt wurde. Hingegen nur 5% der nicht-Airbus Piloten dieses Szenario mit weniger als 500 Sekunden erfüllten. Damit zeigt sich, dass die Bedienung der virtuellen Cockpitelemente von A320 Piloten objektiv schneller und wie im Fragebogen subjektiv bewertet, besser ausgeführt wurde.

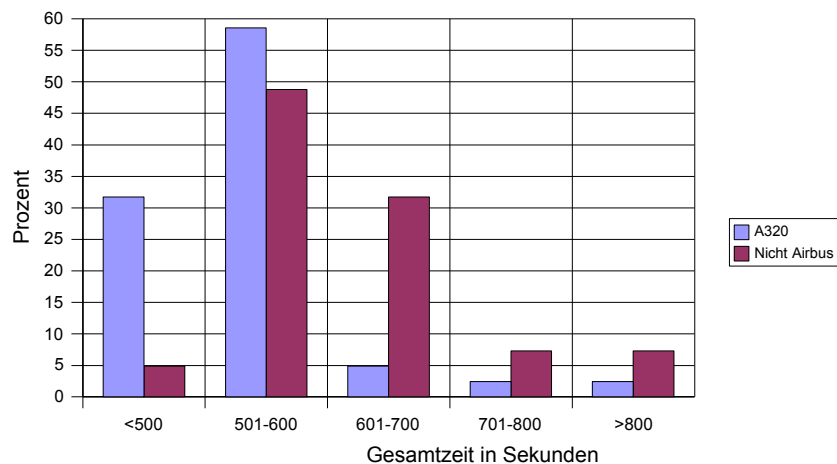


Abbildung 77: Gesamtzeit Szenario 1 – A320 / nicht Airbus

Wie bereits festgestellt brachen 4% den VRPT vorzeitig ab, während sie nur das Szenario 1 gesehen hatten. Aus den aufgezeichneten Daten geht hervor, dass der Abbruch bei fast allen nach dem Starten der APU vollzogen wurde. Daher sollen nun die Interaktionszeiten dieses Abschnittes begutachtet werden, um herauszufinden, ob es in diesem Abschnitt mögliche Probleme bei der Interaktion gegeben haben könnte.

Interaktionszeit mit APU-Bleed ON:

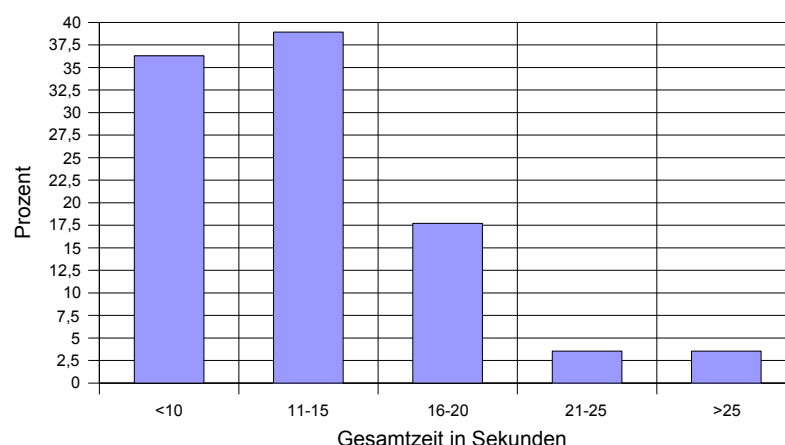


Abbildung 78: Gesamtverteilung – Bedienzeit der Interaktion für APU-Bleed ON

Die Bestzeit beim Anschalten der APU-Bleed wurde mit 4 Sekunden ermittelt, wo hingegen eine maximale Bedienzeit mit 46 Sekunden erfasst wurde. Die Gesamtverteilung zeigt jedoch, dass die meisten Probanden mit der Bedienung zurechtkamen. Große Bedienzeiten treten nur bei wenigen Benutzern auf. Insgesamt schalteten 75% der Teilnehmer die APU-Bleed innerhalb von 15 Sekunden ein. In diesem Punkt muss jedoch die technische Problematik des Handschuhs berücksichtigt werden. Bei einigen Probanden wurde die Interaktion durch den immer leicht gekrümmten Zeigfinger erschwert. Eventuell handelt es sich bei den Teilnehmern die vorzeitig das Training beendeten um Probanden, die durch das technische Problem des Handschuhs vom System enttäuscht waren. Auf Grund der technischen Problematik des Handschuhs, die bei teureren Modellen bei EADS bisher nicht auftrat, ist eine konkrete Aussage bezüglich der Interaktion nicht möglich.

Interaktionszeit mit Nosewheel-Hydraulik OFF:

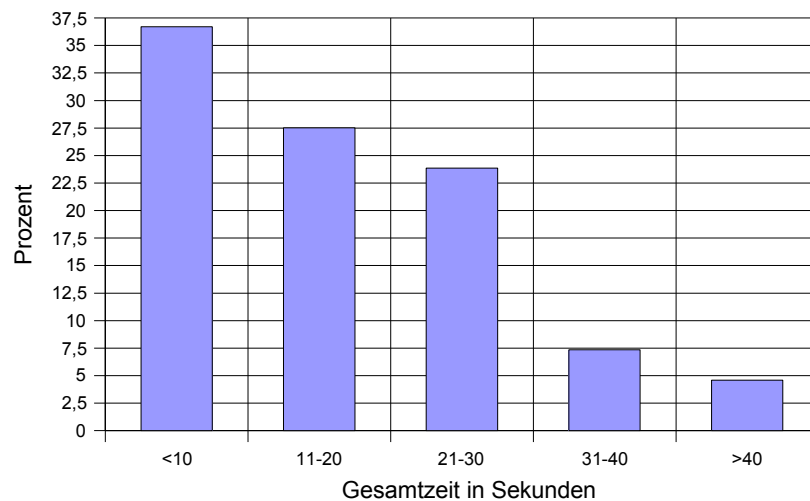


Abbildung 79: Gesamtverteilung - Interaktionszeit Nosewheel-Hyd OFF

Diese Interaktion wurde auch als einer der Abbruchpunkte ermittelt. Das Ausschalten der Nosewheel Hydraulik wurde von einigen Probanden jedoch mit einer Bestzeit von 4 Sekunden durchgeführt. Die maximale Zeit eines Teilnehmers betrug 114 Sekunden, wo hingegen der Durchschnitt bei 18 Sekunden liegt. Aus Abbildung 79 ist zu erkennen, dass der Großteil, etwa 64% der Probanden die Interaktion mit einer Bedienzeit unterhalb von 20 Sekunden erfolgreich durchführte.

Abschließend kann festgestellt werden, dass es wohl nicht an der Interaktion gelegen hat. Die Bedienzeiten zeigen, dass Bestzeiten möglich waren und der Großteil Interaktion mit akzeptablen Zeiten erfolgreich durchführte.

Die Gesamtzeit des Szenario 2 wurde mit knapp 8 Minuten ermittelt. Da in diesem Szenario keine Interaktionen möglich waren, konnte die Gesamtzeit nicht durch den Benutzer beeinflusst werden.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die Studie wurde von Lufthansa und EADS zur Untersuchung der Einsetzbarkeit und Akzeptanz der heutigen VR-Technologie als Trainingsmedium aufgesetzt. Es sollte sich zeigen, ob VR als zukünftiges Trainingsmedium einsetzbar wäre und durch die Benutzer (Piloten) akzeptiert wird. Mit Hilfe zweier Szenarien sollte dies mit dem VRPT hervorgehoben und bewertet werden.

Insgesamt nahmen 122 Probanden auf freiwilliger Basis an der Studie teil, was als großer Erfolg zu sehen ist. Die Teilnahme von Piloten aller Altersklassen, Flugzeugmustern und einem großen Anteil von Kapitänen, gibt der Studie eine gute Aussagekraft.

Im ersten Szenario, dem „Startup und Pushback“, konnte die Möglichkeit der Interaktion mit virtuellen Elementen zur Vermittlung von Prozeduren im virtuellen Cockpit demonstriert werden. 114 Teilnehmer interessierten sich für dieses Szenario, wovon 90% das Training vollständig durchführten. Leider kam es während dem Studienverlauf zu technischen Problemen mit dem eingesetzten Datenhandschuh, was sicherlich die Bewertung der Bedienbarkeit virtueller Elemente durch die Probanden negativ beeinflusste. Die gute Bewertung der Realitätsnähe und des virtuellen Kapitäns durch die Piloten, zeigt das große Potential dieser Technologie, die auf Grund der knappen Entwicklungszeit noch weiter ausgebaut werden kann. Die erfassten Interaktionszeiten belegten, dass ein Triebwerksstart mit Pushback in einer virtuellen Umgebung für 30% der A320-Piloten unter 8 Minuten möglich war. Vergleichsweise wird für dieses Szenario in der Realität zwischen 5 und 7 Minuten benötigt. In einer weiteren Studie sollte mit einem besseren Handschuh die Bedienbarkeit virtueller Elemente erneut erörtert und das große Potential eines virtuellen Kapitäns erarbeitet werden.

Das zweite Szenario, die Airport FAM, zeigte die Möglichkeit, VR als Trainingsmedium zur Vorbereitung auf unbekannte Flughäfen einzusetzen. Auf Grund der neuen technischen Möglichkeiten mit VR können Informationen eines 3D-Raums, in diesem Fall eines Luftraums mit seinen Informationen und den An- und Abflügen, dem Piloten intuitiv vermittelt werden. Durch die immersive Orientierung über die natürliche Kopfbewegung, sollte es möglich sein dem Menschen die Informationen des Luftraums teilweise unbewusst zu vermitteln. Die gute Bewertung durch die Probanden bezüglich der Frage: „Wie gut können Sie sich jetzt nach dem Training ein räumliches Abbild des Gebietes um Salzburg machen?“, bekräftigt den Ansatz, dass eine Airport FAM mit der VR-Technologie durchgeführt werden könnte. Bei heutigen CBT-Programmen, muss der Pilot 3D-Informationen, wie die räumliche Lage von Objekten, von Bildern und Fotos von der 2D-Fläche des Monitors in den 3D-Raum überführen. Die Art und Weise, wie Informationen bestmöglich mit einem VR-System weitergegeben werden könnten, sollte in weiteren Studien untersucht werden.

7.1.VR-Technologie als Ausbildungsmedium

Bislang war VR eine unbekannte Technologie im Trainingssektor der Luftfahrt. Die heutige junge Generation wächst mit dem Spielmarkt auf und hat großes Interesse am Fortschritt der IT-Branche und zukünftiger Technologien. Im Rahmen dieser Studie hat sich gezeigt, dass die Akzeptanz, VR als Trainingsmedium einzusetzen vorhanden ist.

Als Beispiel vermerkte ein Pilot auf einem der Feedbackzettel, dass er sich trotz der großen Skepsis dieser Technologie gegenüber, aus Neugier zu einem Test im VRPT hinreißen ließ. Im Anschluß an das virtuelle Training war er von der Leistungsfähigkeit und der Vielfalt der VR-Technologie begeistert.

Weiterentwicklungen im Bereich der HMD-Technologie werden die noch mangelhafte Größe des Sichtbereiches steigern und den noch teuren Anschaffungspreis durch den zu erwartenden großen Absatz im Spielmarkt senken.

Die Zuverlässigkeit der Hard- und Software des VRPT bestätigt, dass das VR-System auf dem guten Weg zu einem Produkt ist. Das System wurde mit sehr geringem Personalaufwand betrieben. LFT als Betreiber der Full-Flight-Simulatoren bestätigte dies im Anschluss an die Studie und zeigte sich von der Zuverlässigkeit des Prototypen beeindruckt.

Im Rahmen der Studie wurde dem Luftfahrt-Bundesamt (LBA) der VRPT als mögliches zukünftiges Ausbildungsmedium vorgestellt. Das große Potential dieser Technologie und die neuen Möglichkeiten Informationen über unbekannte Flughäfen vermitteln zu können, wurde vom LBA bestätigt. Eine Weiterentwicklung des VRPT zum Produkt würde unter den heutigen Trainingsmedien ein neues Kapitel eröffnen, mit dem komplexe Lerninhalte auf eine ganz neue Art und Weise im 3D-Raum vermittelt werden können.

Literaturverzeichnis

- [CAS] Center of advanced european studies and research
The Virtual Reality and Computing Center at caesar
<http://www.caesar.de/vrc.0.html>
- [MNF] Micro Infinity, Specific Application Development
Low cost motion capture system for games
http://www.m-inf.com/products/kor_motion.htm
- [ITS] Universität Stuttgart
Institut für Thermische Strömungsmaschinen und Maschinenlaboratorium
http://www.itsm.uni-stuttgart.de/public_html/forschung/visvrml.html
- [AER] Aerosim Technologies
Virtual-Procedure-Trainer
http://www.aerosim.com/airline_training/atr_vpt.htm
- [INI] Inition
Kaiser HMD Provview XL50
<http://www.inition.co.uk/inition/products.php>
- [INT] Intersense
Product IS900
<http://www.intersense.com/products/>
- [5DT] Fifth Dimension Technologies
5DT Data Glove 5
<http://www.5dt.com/hardware.html#glove>
- [LFT] Lufthansa-Flight-Training
Eingesetzte Trainingssysteme von LFT
<http://www.lufthansa-flight-training.de>
- [LHP] Lufthansa Cockpit Careers
Informationen Rund um die Pilotenausbildung bei Lufthansa
<http://www.lufthansa-pilot.de>
- [OTR] Lufthansa-Flight-Training
Online Computer-Based-Training Anwendung
<http://www.online-trainingport.de>
- [UIB] Universität der Bundeswehr München
Menschliches Gesichtsfeld
<http://www.unibw-muenchen.de/campus/LRT11/de/Lehre/MMI/Material%20zu%20der%20Vorlesung/Gesichtsfeld.htm>
- [CZI] Uwe Czienskowski. Wissenschaftliche Experimente: Planung, Auswertung und Interpretation. Psychologie Verlags Union, Weinheim, 1996

A Anhang zu Kapitel 3

InterSense IS-900 Specifications

Performance Specifications

Degrees of Freedom:	6 (X, Y, Z, Yaw, Pitch, and Roll) with MiniTrax Devices 3 (Yaw, Pitch, and Roll) with the InertiaCube2 or InertiaCube3
Tracking Device(s):	MiniTrax Wired Head Tracker (Standard) MiniTrax Wired Wand (Standard) MiniTrax Wired Hand Tracker (Optional) MiniTrax High Accuracy Head Tracker (Optional) Custom/OEM MiniTrax Devices (Consult InterSense)
Tracking Volume:	Up to 20 m ² with 12 SoniStrips (SimTracker maximum) Up to 140 m ² with 84 SoniStrips (VETracker maximum) 2.0 m x 2.0 m x 3.0 m maximum w/ SoniFrame (optional) 1.5 m x 1.5 m x 3.0 m with SoniWing (optional)
Angular Range:	Full 360° - All Axes
Resolution:	0.75 mm (1.5 mm Wireless) 0.05° (0.10° Wireless)
Static Accuracy:	2.0 to 3.0 mm (3.0 to 5.0 mm Wireless) 0.25° RMS in Pitch & Roll, 0.50° RMS in Yaw (Standard MiniTrax) 0.25° RMS in Pitch, Roll and Yaw (High Accuracy MiniTrax) 0.50° RMS in Pitch & Roll, 1.00° RMS in Yaw (Wireless MiniTrax) 0.50° RMS in Pitch, Roll and Yaw (Wireless High Accuracy MiniTrax)
Update Rate:	180 Hz Nominal (120 Hz Nominal Wireless)
Latency:	4 ms Typical
Interface:	RS-232 Serial Port Ethernet (Optional)
O/S Compatibility:	Windows 98/2000/Millennium/XP, Linux, SGI IRIX, Sun Solaris, HP AUX, Mac OS X
Software Support:	SDK with full InterSense API ISDEMO control & connectivity software

Physical Specifications

AC Input:	100 to 120 V/200 to 240 V, 60/50 Hz, 6/3 A (auto switching)
Operating Temperature:	0° C to 50° C (32° F to 122° F)
Storage Temperature:	-20° C to 70° C (-4° F to 158° F)
Standard Cable Lengths:	IS-900 to SoniStrips - 10.7 m IS-900 to Tracking Devices - 12.0 m IS-900 to Host (RS-232 Serial) - 1.8 m
Maximum Cable Lengths:	System configuration dependent - Consult InterSense
Processor Size:	1 U rack mounted (44.45 cm wide x 40.64 cm deep x 4.45 cm tall)
Processor Weight:	6.8 kg


<u>SoniStrip</u>	<u>Size</u>	<u>Weight</u>
2 foot	0.61 m x 3.7 cm x 2.5 cm	0.4 kg
4 foot	1.22 m x 3.7 cm x 2.5 cm	0.9 kg
6 foot	1.83 m x 3.7 cm x 2.5 cm	1.3 kg

<u>MiniTrax Devices</u>	<u>Size (outside dimensions)</u>	<u>Weight</u>
Standard Head Tracker	9.4 x 2.7 x 2.7 cm	23 g
High Accuracy Head Tracker	20.5 x 3.0 x 2.7 cm	38 g
Wand	10.0 x 17.0 x 5.5 cm	140 g wired (220 g wireless)
Hand Tracker	10.0 x 8.0 x 4.4 cm	44 g
Helmet Tracker	16.5 x 11.0 x 5.0 cm	128 g
Wireless Transmitter	6.0 x 10.0 x 2.5 cm	150 g
Wireless Receiver	11.0 x 8.5 x 3.5 cm	157 g

InterSense, Inc.

26 Crosby Drive, Suite 150 • Bedford, MA 01730

+1 781 541 6330 • FAX +1 781 541 6329 • info@intersense.com



INTERSENSE

www.intersense.com

Abbildung 80: Technisches Datenblatt des IS900



Herzlich Willkommen

Sehr geehrte Damen und Herren,

herzlich willkommen beim ersten virtuellen Training bei Lufthansa. Mit Hilfe dieses Prototypen, der von EADS in den letzten Monaten entwickelt wurde, sollen Sie einen Einblick in die „Virtuelle-Realität“ bekommen, wie Sie es vielleicht schon von Kinofilmen kennen.

Mit Hilfe dieses Systems können Sie ein virtuelles Startup and Pushback Szenario am Flughafen München mit einem A320 durchführen. Der „Avatar“, Ihr virtueller Kapitän, wird Ihnen zur Seite stehen.

Zusätzlich haben Sie die Möglichkeit eine Airport FAM für den Flughafen Salzburg in 3D im virtuellen Raum zu erleben.

Aus zeitlichen Gründen konnte nicht auf alle Details und die vollständig korrekte Darstellung im Cockpit geachtet werden. Wir bitten diesbezüglich um Ihr Verständnis.

Dieser Prototyp soll Ihnen den Einblick in eine neue Trainings-technologie geben.

Dieses Projekt geschieht in Kooperation mit FRA-NT.

Bitte folgen Sie den weiteren Schritten dieser Anleitung.

Abbildung 81: Anleitung für Probanden zum Ein-/Ausschalten des VRPT, Seite 1 von 4



System einschalten

1

Strom einschalten



2

PC einschalten



3

**Wenn PC hochgefahren:
Touchpad einschalten**



4

Starten der Applikation:
Klicken Sie dazu am Monitor
einmal
auf den „goldenen Stern“



Abbildung 82: Anleitung für Probanden zum Ein-/Ausschalten des VRPT, Seite 2 von 4



Virtuelles Training

→ Fragebogen (1. Teil) am **Touchpad** ausfüllen.



→ Setzen Sie sich jetzt auf den Stuhl im VR-Simulator



- Linken Handschuh **VORSICHTIG** anziehen
 - **Interaktionen** mit dem **Zeigefinger**



- Helm aufziehen



Die Helmgröße kann über zwei Hebel, oberhalb beider Ohren, die durch Drücken nach oben entriegelt werden, enger/weiter gestellt werden.

→ Fragebogen (2. Teil) am **Touchpad** ausfüllen.



Abbildung 83: Anleitung für Probanden zum Ein-/Ausschalten des VRPT, Seite 3 von 4



System ausschalten

1

Auf „Ausschalten“ beim Fragebogen auf dem **Touchpad** tippen.



2

Touchpad ausschalten:
Auf den Knopf drücken,
und auf „Ausschalten“
tippen.



3

Strom ausschalten.



Vielen Dank !

Abbildung 84: Anleitung für Probanden zum Ein-/Ausschalten des VRPT, Seite 4 von 4

Studie I zum Virtual Procedure Training

Fragebogen vor dem Versuch

Zu Ihrer Person:

Haben Sie hier auf der LH-Basis den Virtual Procedure Trainer schon einmal getestet ? Ja ☐ Nein ☐

Bitte geben Sie Ihr Alter an. ☐ unter 26 ☐ 26-30 ☐ 31-35 ☐ 36-40
☐ 41-45 ☐ 46-50 ☐ 51-55 ☐ über 55

Zu Ihrer Berufserfahrung:

Flugstunden ca: ☐ unter 2000 ☐ 2000-4000 ☐ 4001-6000 ☐ 6001-8000 ☐ über 8000

Auf welchem Flugzeugmuster verrichten Sie **momentan** Ihren Dienst ? ☐ A320 Family ☐ anderer Airbus ☐ anderer Hersteller

Welche Verkehrsflugzeuge sind Sie vorher schon geflogen ? ☐ A320 Family ☐ anderer Airbus ☐ anderer Hersteller

Zu Ihrer Erfahrung mit Virtual Reality/Computerspiele:

	Ja	Nein
Haben Sie Erfahrung mit Computerspielen ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Haben Sie Erfahrung mit Virtual Reality Systemen ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ja? :		
Haben Sie schon einmal einen Datenhandschuh getragen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Haben Sie schon einmal einen VR-Helm getragen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 85: Fragebogen Teil I

Zu Ihrer Einschätzung der Airport FAM:

Im folgenden interessieren wir uns für Ihre Einschätzung hinsichtlich der Airport FAM von Salzburg.

	sehr schlecht	schlecht	eher schlecht	weder noch	eher gut	gut	sehr gut
Wie gut können Sie sich jetzt nach dem Training ein räumliches Abbild des Gebietes um Salzburg machen ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie beurteilen Sie den Nutzen einen realen Anflug virtuell aus der Cockpit-Perspektive mitzuerleben ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie empfanden Sie die Auflösung der Satellitenbilder ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 86: Fragebogen Teil 2, Seite 2 von 2

Virtual Procedure Training



Feedback

Bei Bedarf können Sie uns hier weitere Anregungen / Kritik hinterlassen, die Ihrer Meinung nach im Rahmen des digitalen Fragebogens nicht berücksichtigt wurden.

Bitte werfen Sie dieses Blatt in den Kasten auf dem Tisch ein.
Vielen Dank für Ihre Teilnahme und Ihre Anregungen.

Abbildung 87: Feedbackbatt für Kritik und Anregungen